



(43) Date de la publication internationale
2 février 2017 (02.02.2017)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2017/017341 A1

(51) Classification internationale des brevets :
B21C 23/00 (2006.01) *B21C 25/02* (2006.01)
B21C 23/06 (2006.01)

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2016/051847

(22) Date de dépôt international :
19 juillet 2016 (19.07.2016)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
1557031 24 juillet 2015 (24.07.2015) FR

(71) Déposant : UNIVERSITÉ DE LORRAINE [FR/FR]; 34
cours Leopold, 54000 Nancy (FR).

(72) Inventeurs : BEYGELZIMER, Yakiv; Otechestvennaya
str. 22 apt 1, Donetsk, 83050 (UA). TOTH, Laszlo; 10 en
bonne ruelle, 57000 Metz (FR). FUNDENBERGER,
Jean-Jacques; 7 rue de Marsac, 57430 Le Val De Gue-
blange (FR).

(74) Mandataire : NOVAGRAAF TECHNOLOGIES; Bâti-
ment O2, 2 rue Sarah Bernhardt, CS90017, 92665 Asniè-
res-Sur-Seine Cedex (FR).

(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM,

AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT,
HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR,
KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,
MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM,
PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre
de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ,
TZ, UG, ZM, ZW), eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), européen (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU,
LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,
SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ,
GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

- avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))
- avant l'expiration du délai prévu pour la modification des
revendications, sera republiée si des modifications sont re-
çues (règle 48.2.h))

(54) Title : METHOD FOR FORMING AN ULTRAFINE-GRAINED FLAT METAL OBJECT

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

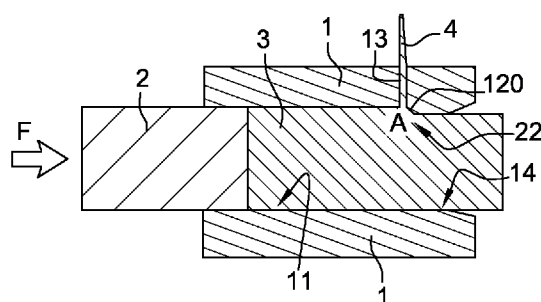


Fig. 1

(57) Abstract : The invention relates to a method for forming a part in which a metal material undergoes severe plastic deformation. For this purpose, a bar (3) of said material is inserted into a die (1) in an insertion direction (F), the die (1) including an intake area (11) with a cross-section that matches the cross-section of the bar (3) and an output area (13), the output area (13) being arranged in a lateral output direction. The die (1) comprises an extrusion area (14) which has the same direction as the intake area (11) and a smaller size than the intake area (11), and a transition surface (120) downstream from the output area (13). The bar (3) is extruded through the extrusion area (14), the transition surface (120) creating a pressure to push a portion of the material through the outlet area (13) and to extract the transformed material in sheet form (4).

(57) Abrégé : Procédé de formation d'un objet plat métallique à grains ultrafins Selon un procédé de formation d'une pièce, un matériau métallique subit une déformation plastique sévère. Pour cela, 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. La matrice (1) comporte 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), et une face de transition (120) en aval de la zone de sortie (13). 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).

PROCÉDÉ DE FORMATION D'UN OBJET PLAT MÉTALLIQUE A GRAINS ULTRAFINS

Domaine technique

5 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.

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

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-
15 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
20 aciers, des alliages à base de titane, d'aluminium, de magnésium ou de lithium.

Lors de la mise en œuvre d'une déformation plastique sévère, des changements microstructuraux sont induits par des déformations plastiques très importantes imposées à un échantillon, d'un facteur souvent
25 supérieur à 3.

La méthode la plus courante est celle du laminage [1]. Elle nécessite de réaliser de nombreuses passes successives, chacune réduisant l'épaisseur totale une tôle. Ce procédé est long à mettre en œuvre 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].

Une autre technique permettant de travailler sur de plus petits échantillons est une technique d'extrusion angulaire à section constante
5 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 œuvre des forces très importantes et rend la conception et la fabrication de la matrice très délicate. Les références [3], [4] et [5] sont des
10 documents qui exposent cette méthode.

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.

15 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.

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

20 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.

25 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

L'invention vise à proposer un procédé de production de pièces ayant
30 une microstructure à grains ultrafins, obtenue par déformation plastique

sévère, qui soit rapide à mettre en œuvre et pouvant être mis en œuvre avec des efforts modérés.

Avec ces objectifs en vue, l'invention a pour objet un procédé de formation d'une pièce dans lequel un matériau métallique subit une
5 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
10 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
15 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.

20 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
25 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.

30 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 œuvre le procédé.

- 5 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 ;

- 10 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.

- 15 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
- 20 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.

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 ;

5 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 ;

10 P_{bp} est la contre-pression ; et

k est la limite élastique en cisaillement du matériau.

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.

15

Brève description des figures

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 :

- 20 – 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 œuvre ;
- 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 œuvre du procédé selon l'invention ;
- la figure 4 est une vue similaire à la figure 3 avec mise en œuvre du procédé selon l'invention ;
- 5 - 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 ;
- 10 - 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

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

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

 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
25 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
30 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.

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.

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.

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.

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 souhaitée.

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.

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.

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 :

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

En remplaçant P_a , on obtient :

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

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

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

d'où :

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

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.

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 $t = a/h$.

5 La formation de la tôle 4 a lieu à condition que :

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

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
10 scénario de la figure 3 qui se passe.

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
15 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
25 4 :

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

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

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

5 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.

Les isolignes de χ sont montrées sur les figures 5a et 5b, 10 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 $\chi = 1$.

Selon un deuxième mode de réalisation, montré sur la figure 2, l'outillage est complété par un deuxième piston 5 apte à exercer une 15 contre-pression sur l'extrémité de la barre 3 dans la zone d'extrusion 14.

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 :

$$20 \quad \frac{P_a}{k} = -\left(2 + \frac{m}{\sin \alpha}\right) \ln(1 - \Psi) + \tan \alpha + \frac{P_{bp}}{k} + \frac{w_{fr}}{kH_0V_0} , \quad (11)$$

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

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

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

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

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',
 5 Db' dans lequel la formation de la tôle 4 a lieu est représenté en grisé, au-dessus de la ligne $\chi' = 1$.

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.

10 **Exemple 1**

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

15 Taille de grain initiale: 200 μ m

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 :

20 Epaisseur de la tôle produite : 0,7 mm

Dureté de la tôle : 108 HV

Déformation plastique estimée dans la tôle : $\gamma = 8.1$

Taille de grain dans la tôle : 610 nm.

Exemple 2

25 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, microstructure and mechanical properties of ultra fine grained bcc steels, Materials Science and Engineering A 441 (2006) 1–17.
5
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
10
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
15
7. Y. Saito, H. Utsunomiya, H. Suzuki, T. Sakai, Improvement in the R-value of Aluminum Strip by a Continuous Shear Deformation Process, Scripta Materialia 42 (2000) 1139–1144.
8. C.Y. Nam, J.H. Han, Y.H. Chung, M.C. Shin, Effect of
20
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.
- 25
11. US 2013/0055783 A1

REVENDEICATIONS

1. Procédé de formation d'une pièce dans lequel un matériau
 5 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
 10 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
 15 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
 20 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
 25 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 ;

5 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

10 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 :

15 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) ;

20 $t = a/h$ 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.

1/4

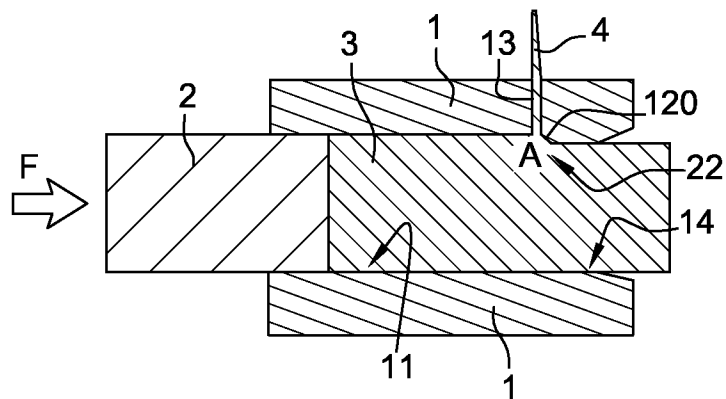


Fig. 1

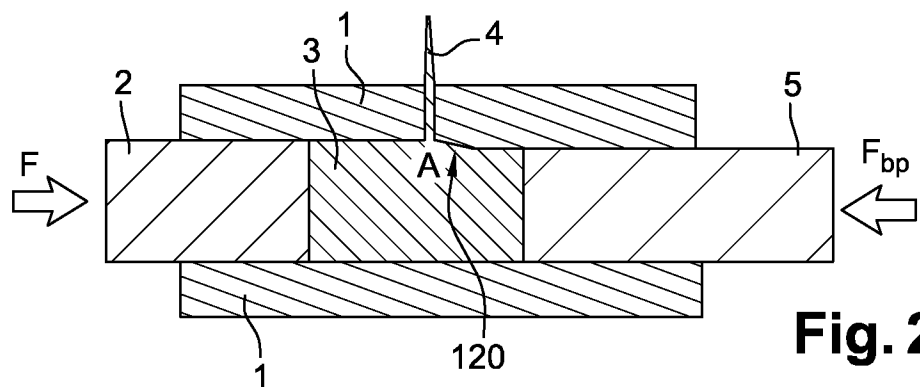


Fig. 2

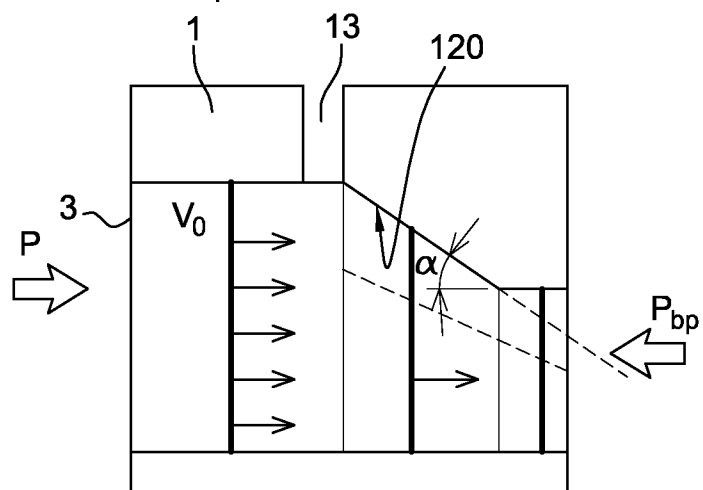


Fig. 3

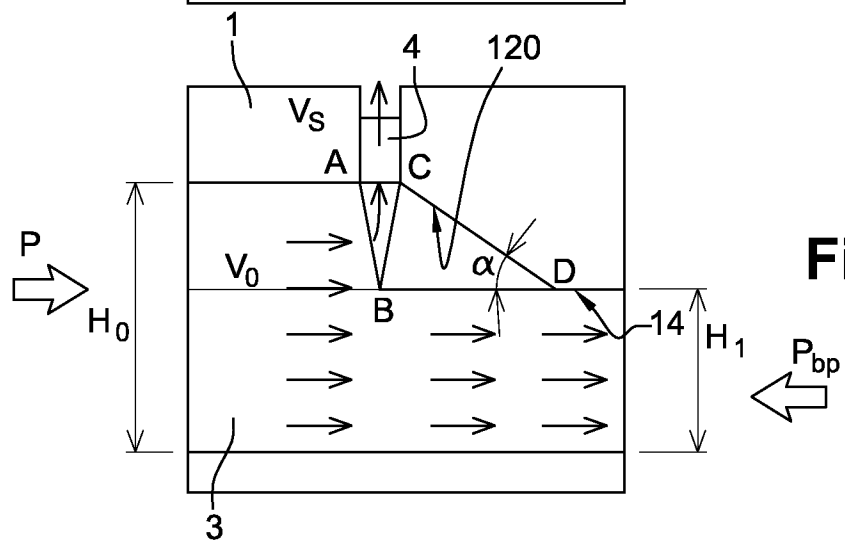


Fig. 4

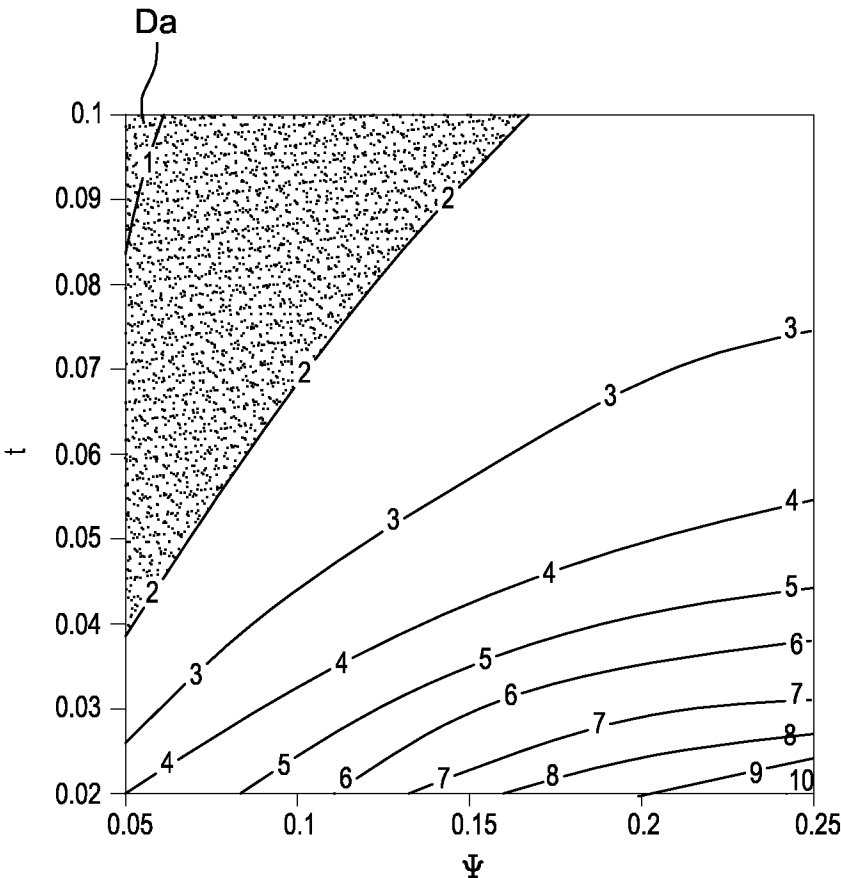


Fig. 5a

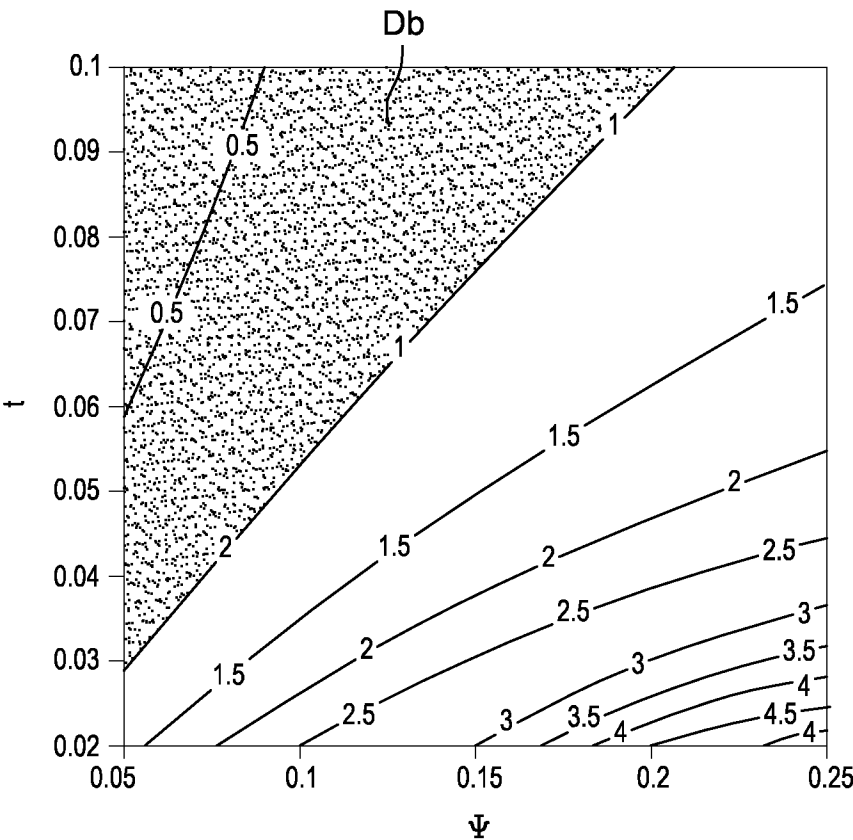
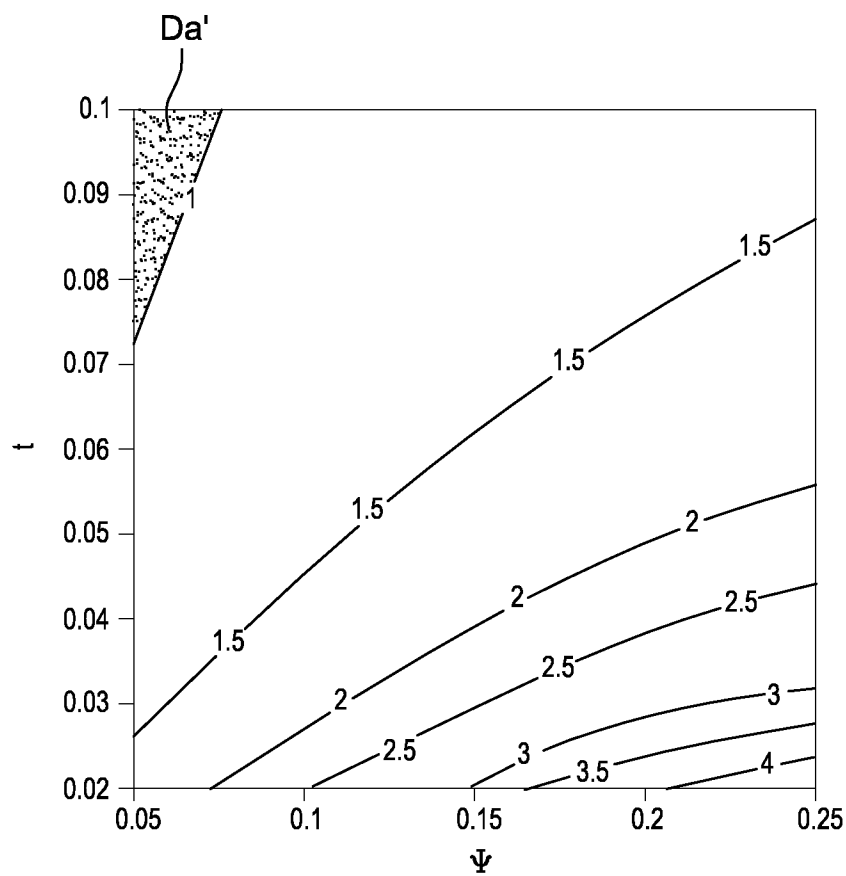
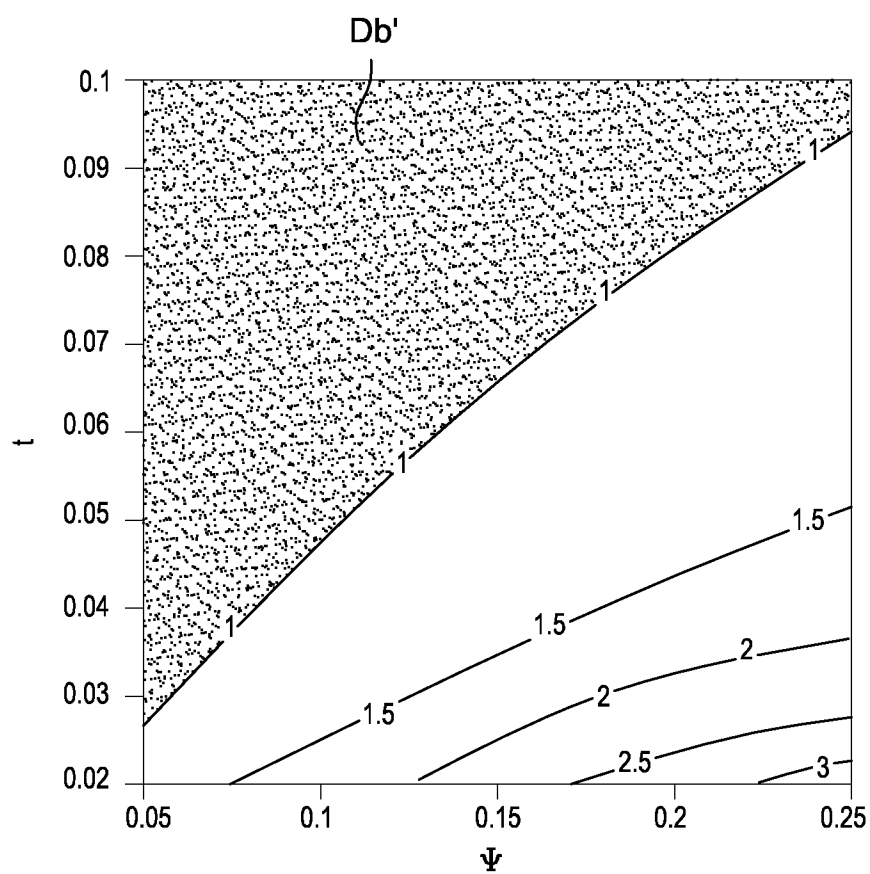
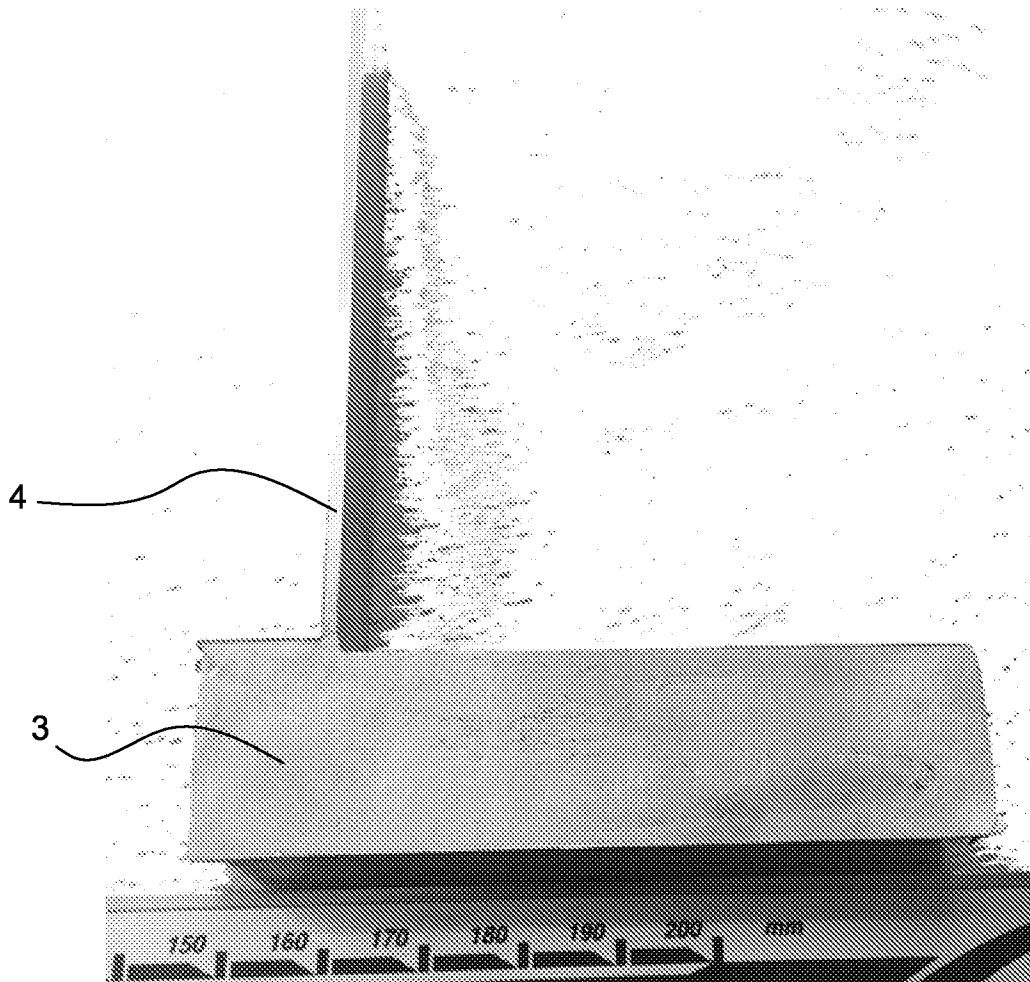
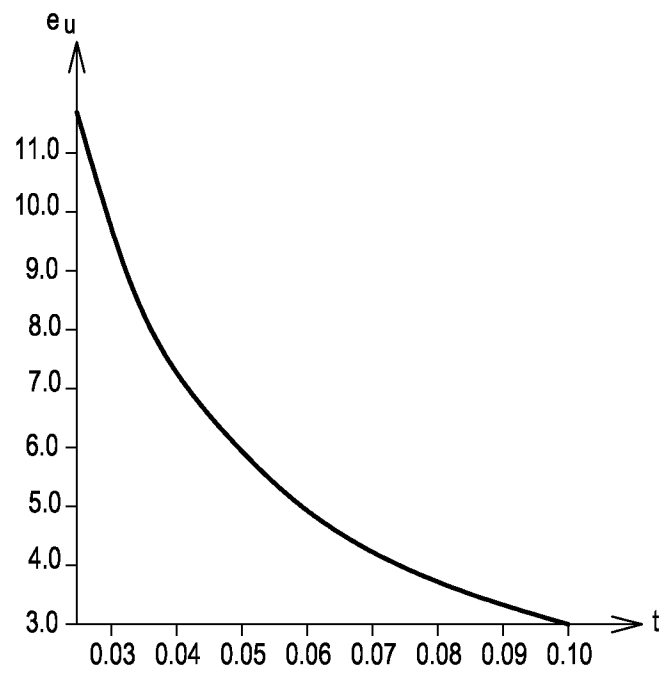


Fig. 5b

3 / 4

**Fig. 6a****Fig. 6b**

4 / 4

Fig. 7**Fig. 8**

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/051847

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B21C23/00 B21C23/06 B21C25/02
ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
B21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 7 191 630 B2 (SEGAL VLADIMIR M [US]) 20 March 2007 (2007-03-20) column 4, line 60 - column 5, line 14; figures 1,10	1-4
A	US 7 152 448 B2 (ZHU YUNTIAN T [US] ET AL) 26 December 2006 (2006-12-26) column 4, lines 33-43; figures	1-4
A	US 7 617 750 B2 (MOSCOSO WILFREDO [US] ET AL) 17 November 2009 (2009-11-17) column 7, lines 21-51; figure 1	1-4
A	US 2013/055783 A1 (JEONG HYU-TAE [KR] ET AL) 7 March 2013 (2013-03-07) paragraph [0034]; figure 1	1-4
	-/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 November 2016

Date of mailing of the international search report

18/11/2016

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Charvet, Pierre

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/FR2016/051847

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005 000996 A (MIZUNUMA SUSUMU) 6 January 2005 (2005-01-06) abstract; figures -----	1-4
A	WO 2013/006910 A1 (CECAP PTY LTD [AU]; THOMSON PETER [AU]; MATTIEVICH SILVIO [AU]; SANDLI) 17 January 2013 (2013-01-17) page 6, lines 8-14; figures -----	1-4
A	GB 1 447 768 A (BRITISH STEEL CORP) 2 September 1976 (1976-09-02) page 2, lines 4-7; figures page 2, lines 66-84 -----	1-4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/FR2016/051847

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 7191630	B2	20-03-2007	US 2005016243 A1 27-01-2005 US 2007131013 A1 14-06-2007
US 7152448	B2	26-12-2006	US 2006130549 A1 22-06-2006 WO 2007001428 A2 04-01-2007
US 7617750	B2	17-11-2009	CA 2671711 A1 12-06-2008 EP 2101941 A1 23-09-2009 JP 5023156 B2 12-09-2012 JP 2010511525 A 15-04-2010 US 2008138163 A1 12-06-2008 WO 2008069809 A1 12-06-2008
US 2013055783	A1	07-03-2013	CN 103003000 A 27-03-2013 EP 2572809 A2 27-03-2013 JP 5990509 B2 14-09-2016 JP 2013526414 A 24-06-2013 KR 101066817 B1 23-09-2011 US 2013055783 A1 07-03-2013 US 2016214155 A1 28-07-2016 WO 2011145860 A2 24-11-2011
JP 2005000996	A	06-01-2005	NONE
WO 2013006910	A1	17-01-2013	AU 2012283755 A1 23-01-2014 CA 2841333 A1 17-01-2013 CN 103648672 A 19-03-2014 EP 2731737 A1 21-05-2014 JP 2014520673 A 25-08-2014 KR 20140066694 A 02-06-2014 RU 2014101249 A 20-08-2015 US 2014137621 A1 22-05-2014 WO 2013006910 A1 17-01-2013
GB 1447768	A	02-09-1976	NONE

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/FR2016/051847

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B21C23/00 B21C23/06 B21C25/02 ADD.		
Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB		
B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement) B21C		
Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche		
Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés) EPO-Internal, WPI Data		
C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 7 191 630 B2 (SEGAL VLADIMIR M [US]) 20 mars 2007 (2007-03-20) colonne 4, ligne 60 - colonne 5, ligne 14; figures 1,10 -----	1-4
A	US 7 152 448 B2 (ZHU YUNTIAN T [US] ET AL) 26 décembre 2006 (2006-12-26) colonne 4, lignes 33-43; figures -----	1-4
A	US 7 617 750 B2 (MOSCOSO WILFREDO [US] ET AL) 17 novembre 2009 (2009-11-17) colonne 7, lignes 21-51; figure 1 -----	1-4
A	US 2013/055783 A1 (JEONG HYO-TAE [KR] ET AL) 7 mars 2013 (2013-03-07) alinéa [0034]; figure 1 ----- -/-	1-4
☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents ☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe		
* Catégories spéciales de documents cités: "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée) "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée "T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention "X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément "Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier "&" document qui fait partie de la même famille de brevets		
Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée 10 novembre 2016		Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale 18/11/2016
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Fonctionnaire autorisé Charvet, Pierre

C(suite). DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie*	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	JP 2005 000996 A (MIZUNUMA SUSUMU) 6 janvier 2005 (2005-01-06) abrégé; figures -----	1-4
A	WO 2013/006910 A1 (CECAP PTY LTD [AU]; THOMSON PETER [AU]; MATTIEVICH SILVIO [AU]; SANDLI) 17 janvier 2013 (2013-01-17) page 6, lignes 8-14; figures -----	1-4
A	GB 1 447 768 A (BRITISH STEEL CORP) 2 septembre 1976 (1976-09-02) page 2, lignes 4-7; figures page 2, lignes 66-84 -----	1-4

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/FR2016/051847

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 7191630	B2	20-03-2007	US 2005016243 A1 US 2007131013 A1	27-01-2005 14-06-2007
US 7152448	B2	26-12-2006	US 2006130549 A1 WO 2007001428 A2	22-06-2006 04-01-2007
US 7617750	B2	17-11-2009	CA 2671711 A1 EP 2101941 A1 JP 5023156 B2 JP 2010511525 A US 2008138163 A1 WO 2008069809 A1	12-06-2008 23-09-2009 12-09-2012 15-04-2010 12-06-2008 12-06-2008
US 2013055783	A1	07-03-2013	CN 103003000 A EP 2572809 A2 JP 5990509 B2 JP 2013526414 A KR 101066817 B1 US 2013055783 A1 US 2016214155 A1 WO 2011145860 A2	27-03-2013 27-03-2013 14-09-2016 24-06-2013 23-09-2011 07-03-2013 28-07-2016 24-11-2011
JP 2005000996	A	06-01-2005	AUCUN	
WO 2013006910	A1	17-01-2013	AU 2012283755 A1 CA 2841333 A1 CN 103648672 A EP 2731737 A1 JP 2014520673 A KR 20140066694 A RU 2014101249 A US 2014137621 A1 WO 2013006910 A1	23-01-2014 17-01-2013 19-03-2014 21-05-2014 25-08-2014 02-06-2014 20-08-2015 22-05-2014 17-01-2013
GB 1447768	A	02-09-1976	AUCUN	