

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
31 janvier 2013 (31.01.2013)

WIPO | PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2013/014512 A1

(51) Classification internationale des brevets :

B23K 35/02 (2006.01) **C21D 1/673** (2006.01)
B23K 35/30 (2006.01) **C21D 9/48** (2006.01)
B23K 35/38 (2006.01) **C21D 9/50** (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01) **B32B 15/01** (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01) **B23K 26/32** (2006.01)
B62D 29/00 (2006.01)

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants (pour US seulement) : **CRET-TEUR, Laurent** [FR/FR]; 8, rue des Iris, F-60270 Gouvieux (FR). **YIN, Qingdong** [CN/FR]; 1 Route de Saint Leu, F-60761 Montataire (FR). **SCHMIT, Francis** [FR/FR]; 7, rue Fernel, F-60600 Clermont (FR). **EHLING, Wolfram** [DE/BE]; Callierlaan 122, B-9000 Gent (BE).

(21) Numéro de la demande internationale :

PCT/IB2012/001418

(74) Mandataire : **PLAISANT, Sophie**; ArcelorMittal France, Research & Development Intellectual Property, 5 rue luigi Cherubini, F-93200 Saint-Denis (FR).

(22) Date de dépôt international :

23 juillet 2012 (23.07.2012)

(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, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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.

(25) Langue de dépôt :

français

(26) Langue de publication :

français

(30) Données relatives à la priorité :

PCT/IB2011/001725

26 juillet 2011 (26.07.2011)

IB

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **ARCELORMITTAL INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO SL** [ES/ES]; CL/Chafarri, 6, E-48910 Sestao, Bizkaia (ES).

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : HOT-FORMED PREVIOUSLY WELDED STEEL PART WITH VERY HIGH MECHANICAL RESISTANCE, AND PRODUCTION METHOD

(54) Titre : PIÈCE D'ACIER SOUDÉE MISE EN FORME À CHAUD À TRÈS HAUTE RÉSISTANCE MÉCANIQUE ET PROCÉDÉ DE FABRICATION

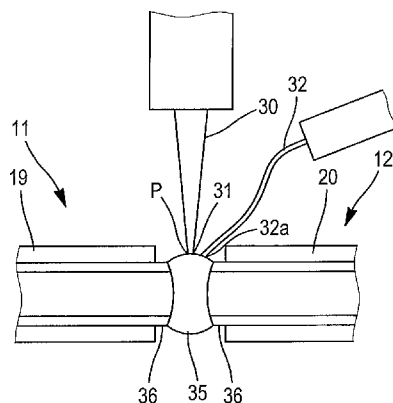


FIG. 4

(57) Abstract : The invention mainly relates to a welded steel part, with very high mechanical resistance properties, produced by heating, then hot-forming, then cooling at least one welded blank produced by the end-to-end welding of at least one first and one second metal sheet at least partially consisting of a steel substrate and a pre-coating consisting of an intermetallic alloy layer in contact with the steel substrate, on which a metallic alloy layer consisting of aluminium alloy or based on aluminium is mounted. Said welded steel part according to the invention is essentially characterised in that the edges (36) in close proximity to the melted area (35) are not provided with the metallic alloy layer (19, 20) but they are provided with the intermetallic alloy layer (17, 18), and in that, on at least part of the length of the melted area (35), the ratio of the carbon content of the melted area (35) to the carbon content of the substrate (25, 26) of one of the first or second metal sheets (11, 12) having the highest carbon content (C_{max}) is between 1.27 and 1.59. The invention also relates to a method for producing such a welded steel part and to the use of said welded acid part for producing structural or safety parts for vehicles, especially motor vehicles.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2013/014512 A1



GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— avec rapport de recherche internationale (Art. 21(3))

L'invention porte principalement sur une pièce d'acier soudée, à très hautes caractéristiques de résistance mécanique, obtenue à partir d'un chauffage suivi d'une mise en forme à chaud puis d'un refroidissement d'au moins un flan soudé obtenu par soudage en bout à bout d'au moins une première et une seconde tôles constituées au moins en partie d'un substrat en acier et d'un pré-revêtement qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmontée d'une couche en alliage métallique en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium. Ladite pièce d'acier soudée de l'invention est essentiellement caractérisée en ce que les abords (36) à proximité directe de la zone fondue (35) sont dépourvus de la couche d'alliage métallique (19, 20) tout en étant pourvus de la couche d'alliage intermétallique (17, 18), et en ce que, sur au moins une partie de la longueur de la zone fondue (35), le rapport entre la teneur en carbone de la zone fondue (35) et la teneur en carbone du substrat (25,26) de l'une des première ou seconde tôle (11,12) présentant la teneur en carbone (Cmax) la plus élevée est compris entre 1,27 et 1,59. L'invention porte également sur un procédé de fabrication d'une telle pièce d'acier soudée ainsi que l'utilisation de cette pièce d'acier soudée pour la fabrication de pièces de structures ou de sécurité pour véhicule notamment automobile.

**Pièce d'acier soudée mise en forme à chaud à très haute résistance
mécanique et procédé de fabrication.**

L'invention concerne principalement une pièce d'acier soudée mise en forme à chaud à très haute résistance mécanique.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'une telle pièce d'acier soudée ainsi que l'utilisation de cette pièce d'acier soudée pour la fabrication de pièces de structures ou de sécurité pour véhicule automobile.

Il est connu de fabriquer des pièces d'acier soudées à partir de flans d'aciers de composition et/ou d'épaisseur différentes soudés entre eux bout à bout en continu. Selon un premier mode de fabrication connu, ces flans soudés sont déformés à froid. Selon un second mode de fabrication connu, ces flans soudés sont chauffés à une température permettant l'austénitisation de l'acier puis déformés à chaud et refroidis rapidement au sein de l'outillage de mise en forme. La présente invention se rapporte à ce second mode de fabrication.

La composition de l'acier peut être choisie à la fois pour permettre des opérations subséquentes de chauffage et de déformation, et pour conférer à la pièce d'acier soudée une résistance mécanique élevée, une grande résistance aux chocs ainsi qu'une bonne tenue à la corrosion.

De telles pièces d'acier trouvent notamment application dans l'industrie automobile, et plus particulièrement pour la fabrication des pièces anti-intrusion, des pièces de structure ou des pièces participant à la sécurité des véhicules automobiles.

Parmi les matériaux déformables à chaud présentant les caractéristiques requises pour les applications mentionnées précédemment, la tôle d'acier revêtue faisant l'objet de la publication EP971044 contient notamment une teneur en poids en carbone comprise entre 0,10 % et 0,5% et comporte un pré-revêtement métallique à base d'aluminium. La tôle est revêtue, par exemple au trempé en continu, dans un bain comportant, outre de l'aluminium, du silicium et du fer dans des teneurs contrôlées. Le traitement thermique subséquent appliqué lors d'un procédé de formage à chaud ou après la mise en forme et le refroidissement opéré postérieurement à ce traitement thermique permet d'obtenir une microstructure martensitique conférant à la pièce d'acier une résistance mécanique élevée pouvant dépasser 1500 MPa.

Un procédé de fabrication connu de pièces d'acier soudées consiste à approvisionner au moins deux tôles d'acier selon la publication EP971044, à souder en bout à bout ces deux tôles pour obtenir un flan soudé, éventuellement à réaliser une découpe de ce flan soudé, puis à chauffer le flan soudé avant de réaliser une déformation à chaud, par exemple par emboutissage à chaud, pour conférer à la pièce d'acier la forme requise pour son application.

Une technique de soudage connue est le soudage par faisceau Laser. Cette technique présente des avantages en termes de souplesse, de qualité et de productivité comparés à d'autres techniques de soudage telles que le soudage à la molette ou le soudage à l'arc.

Mais au cours de l'opération de soudage, le pré-revêtement à base d'aluminium constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmonté d'une couche d'alliage métallique, est dilué avec le substrat d'acier au sein de la zone fondue qui est la zone portée à l'état liquide pendant l'opération de soudage et qui se solidifie après cette opération de soudage en formant la liaison entre les deux tôles.

Dans la gamme de teneurs en aluminium du pré revêtement, deux situations peuvent alors se présenter.

Selon un premier phénomène, si la concentration en aluminium dans la zone fondue est localement élevée, des composés intermétalliques se forment, résultant de la dilution d'une partie du pré-revêtement au sein de la zone fondue, et de l'alliation qui se produit lors du chauffage ultérieur du joint soudé avant l'étape de déformation à chaud. Ces composés intermétalliques sont des sites privilégiés d'amorçage de la rupture.

Selon un second phénomène, si la concentration en aluminium dans la zone fondue est moins élevée, l'aluminium, élément alphagène en solution solide dans la matrice, empêche la transformation en austénite qui intervient lors de l'étape de chauffage précédant l'emboutissage. Dès lors, il n'est plus possible d'obtenir de la martensite ou de la bainite lors du refroidissement après la mise en forme à chaud, et le joint soudé comporte de la ferrite. La zone fondue présente alors une dureté et une résistance mécanique moindres que les deux tôles adjacentes.

Pour éviter le premier phénomène décrit ci-dessus, une solution est décrite dans la publication EP2007545, qui consiste à éliminer, au niveau de la périphérie

des tôles destinées à subir l'opération de soudage, la couche d'alliage métallique superficielle en laissant la couche d'alliage intermétallique. L'enlèvement peut être réalisé par brossage ou par faisceau laser. La couche d'alliage intermétallique est maintenue pour garantir la tenue à la corrosion et éviter les phénomènes de décarburation et d'oxydation lors du traitement thermique qui précède l'opération de mise en forme.

Cependant, cette technique ne permet pas toujours d'éviter le second phénomène décrit ci-dessus : bien que la dilution de la mince couche d'alliage intermétallique ne conduise qu'à une très faible augmentation de la teneur en aluminium dans la zone fondue (inférieure à 0,1%), la conjugaison des ségrégations locales en aluminium et de la combinaison éventuelle du bore sous forme de nitrure dans la zone fondue, conduit à une diminution de la trempabilité dans cette zone. De ce fait, la vitesse critique de trempe est augmentée dans la zone fondue au regard de celle des deux tôles adjacentes.

La figure 1 représente la dureté observée dans la zone fondue (profil 2) et dans le métal de base (profil 1), c'est à dire la tôle d'acier avoisinante, après chauffage à 900°C puis emboutissage à chaud et refroidissement à vitesse variable. La dureté du métal de base est celle obtenue dans le cas d'une tôle selon la publication EP971044, comportant notamment 0,22%C, 1,12%Mn, 0,003%B. La dureté de la zone fondue est celle observée lorsque le soudage est réalisé comme décrit dans la publication EP2007545.

Le profil 1 indique que la vitesse critique de trempe martensitique du métal de base est de 27°C/seconde puisque toute vitesse de refroidissement supérieure à 27°C/seconde conduit à une dureté de la tôle de l'ordre de 480 HV et à une microstructure totalement martensitique.

En revanche, le profil 2 montre que la vitesse de trempe critique martensitique de la zone fondue est de 35°C/s. Ainsi, une vitesse de refroidissement après emboutissage à chaud comprise entre 27°C/s et 35°C/s ne confèrera pas une dureté suffisante et une structure pleinement martensitique dans cette zone.

Par ailleurs, à cette augmentation de la vitesse de trempe critique dans la zone fondue, viennent s'ajouter des conditions défavorables de refroidissement de cette zone fondue lors de la mise en forme à chaud.

En effet, la zone fondue peut se trouver en absence totale de contact avec l'outil froid lors du refroidissement pour les raisons indépendantes ou combinées suivantes :

- si les deux tôles présentent une épaisseur différente, en raison de la « marche » aménagée dans l'outil pour permettre le déplacement de la matière lors de la mise en forme
- en raison d'un éventuel défaut d'alignement entre l'outil et le flan soudé.

Ainsi, il résulte de ce qui a été dit précédemment que pour une vitesse de refroidissement du flan soudé inférieure à 35°C/s, la zone fondue présente une hétérogénéité microstructurale et une diminution des caractéristiques mécaniques de l'assemblage pouvant rendre la pièce d'acier soudée non conforme aux applications requises, notamment pour le domaine automobile.

Un autre procédé de soudage connu appliqué aux tôles de la publication EP971044 est décrit dans la publication EP1878531.

Ce procédé consiste à réaliser une zone fondue présentant les caractéristiques de résistance mécanique requises par le soudage de deux tôles préalablement découpées par cisailage et présentant, du fait de ce type de découpe, des dépôts du pré-revêtement à base d'aluminium sur leurs tranches.

Le procédé de soudage consiste soit en un soudage hybride laser-TIG, c'est-à-dire un faisceau laser combiné à un arc électrique délivré par une torche de soudage TIG (« Tungsten Inert Gas ») équipée d'une électrode non fusible, soit en un soudage hybride laser-MIG (« Metal Inert Gas ») pour lequel la torche de soudage est équipée d'une électrode filaire fusible.

Mais les pièces d'acier soudées embouties à chaud après l'opération de soudage selon ce procédé présentent également une fragilité mécanique au niveau de la zone fondue.

En effet, quel que soit le taux de métal d'apport dans le cas d'un soudage hybride laser-MIG, le mélange au sein de la zone fondue n'est pas suffisant pour éviter la formation de zones à forte teneur en aluminium, qui conduisent à une absence de formation de martensite au niveau de la zone fondue lors du refroidissement et donc une résistance mécanique insuffisante.

Pour obtenir un niveau de dilution souhaité, il est nécessaire d'avoir des apports en métal importants qui engendrent d'une part des difficultés pour fondre

le métal apporté par le soudage avec le métal à souder, et d'autre part une surépaisseur importante au niveau de la zone fondue qui est gênante pour la mise en forme et rend la pièce à souder résultante non conforme aux normes qualité en vigueur dans le secteur automobile.

Dans ce contexte, la présente invention vise une pièce d'acier soudée à très haute résistance mécanique, c'est-à-dire supérieure à 1230 MPa, obtenue à partir d'un chauffage dans le domaine austénitique suivi de la déformation d'au moins un flan soudé obtenu par soudage en bout à bout d'au moins deux tôles constituées au moins en partie d'un substrat en acier et d'un pré-revêtement qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmontée d'une couche en alliage métallique laquelle est en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium.

L'invention vise particulièrement une telle pièce d'acier soudée pour laquelle la déformation préalable consiste en une mise en forme à chaud et pour laquelle la résistance mécanique de la zone fondue est supérieure à celle des deux tôles soudées ou d'au moins l'une des deux tôles soudées.

A cet effet, la pièce d'acier soudée, à très hautes caractéristiques de résistance mécanique de l'invention est obtenue à partir d'un chauffage dans le domaine austénitique suivi d'une mise en forme à chaud puis d'un refroidissement d'au moins un flan soudé obtenu par soudage en bout à bout d'au moins une première et une seconde tôles constituées au moins en partie d'un substrat en acier et d'un pré-revêtement qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmontée d'une couche en alliage métallique en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium, et est essentiellement caractérisée en ce que les abords à proximité directe de la zone fondue résultant de l'opération de soudage et constituant la liaison entre la première et la seconde tôles, sont dépourvus de la couche d'alliage métallique tout en étant pourvus de la couche d'alliage intermétallique, et en ce que, sur au moins une partie de la longueur de la zone fondue, le rapport entre la teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone du substrat de l'une des première ou seconde tôle présentant la teneur en carbone C_{max} la plus élevée est compris entre 1,27 et 1,59.

Les caractéristiques précitées de la pièce d'acier soudée de l'invention se traduisent par une rupture intervenant dans le métal de base et non dans la zone

fondue, lorsque le joint soudé est sollicité par une traction uniaxiale perpendiculaire au joint.

La pièce d'acier soudée de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- le rapport entre la dureté de la zone fondue et la dureté du substrat de l'une des première ou seconde tôle présentant la teneur en carbone C_{max} la plus élevée, est supérieur à $1,029 + (0,36 C_{max})$, C_{max} étant exprimé en pourcentage pondéral.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 2,3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,03\%$$

$$P \leq 0,05\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,25\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,8\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,5\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,005\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la teneur en carbone de la zone fondue est inférieure ou égale à 0,35% en poids.

- la couche d'alliage métallique du pré-revêtement comprend, les teneurs étant exprimées en poids, entre 8 et 11% de silicium, entre 2 et 4 % en fer, le reste de la composition étant de l'aluminium et des impuretés inévitables.

- la microstructure de la zone fondue est dépourvue de ferrite.

- la microstructure de la zone fondue est martensitique.

- ladite mise en forme à chaud du flan soudé est réalisée par une opération d'emboutissage à chaud.

- les tranches respectives des bords périphériques des première et seconde tôles destinées à subir l'opération de soudage sont dépourvues d'aluminium ou d'alliage d'aluminium dont la présence peut résulter d'une opération préalable de découpe de chacune des première et seconde tôles.

L'invention porte également sur un procédé de fabrication de la pièce d'acier soudée telle que précédemment décrite.

A cet effet, selon le procédé de l'invention, on approvisionne au moins une première et une seconde tôles d'acier constituées d'un substrat en acier et d'un pré-revêtement qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmontée d'une couche d'alliage métallique laquelle est en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium, et pour lesquelles au moins une face d'une partie d'un bord périphérique de chacune des première et seconde tôles d'acier destinée à subir l'opération de soudage est dépourvue de la dite

couche d'alliage métallique en laissant en place la couche d'alliage intermétallique, et pour lesquelles les tranches respectives des bords périphériques des première et seconde tôles destinés à subir l'opération de soudage sont dépourvues d'aluminium ou d'alliage d'aluminium dont la présence peut résulter d'une opération préalable de découpe de chacune des première et seconde tôles, puis on soude en bout à bout la première et la seconde tôle d'acier au niveau des bords périphériques respectifs de ces première et seconde tôles d'acier dépourvus de la couche d'alliage métallique au moyen d'une source laser et en utilisant un fil d'apport de matière sur au moins une partie de la longueur de la zone soudée, on obtient un flan soudé dans lequel la teneur en carbone de la zone fondue résultant de l'opération de soudage et constituant la liaison entre les première et seconde tôles est comprise entre 1,27 et 1,59 fois la teneur en carbone du substrat de la tôle présentant la teneur en carbone la plus élevée, puis on chauffe ledit flan soudé de manière à conférer dans la zone fondue, une structure totalement austénitique, puis on met en forme à chaud ledit flan soudé et chauffé pour obtenir une pièce d'acier, puis on refroidit ladite pièce d'acier à vitesse contrôlée pour obtenir les caractéristiques de résistance mécanique visées.

Le procédé de fabrication de la pièce d'acier soudée de l'invention peut également comporter les caractéristiques optionnelles suivantes considérées isolément ou selon toutes les combinaisons techniques possibles :

- les faces opposées des bords périphériques respectifs de chacune des première et seconde tôles d'acier sont dépourvues de couche d'alliage métallique en laissant en place la couche d'alliage intermétallique.

- la largeur de la zone dépourvue de couche d'alliage métallique au niveau du bord périphérique des première et seconde tôles destiné à subir l'opération de soudage est comprise entre 0,2 et 2,2 millimètres.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$\text{Al} \leq 0,1\%$$

$$\text{S} \leq 0,05\%$$

$$\text{P} \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq \text{B} \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq \text{C} \leq 0,4\%$$

$$0,8\% \leq \text{Mn} \leq 2,3\%$$

$$0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 1\%$$

$$\text{Ti} \leq 0,1\%$$

$$\text{Al} \leq 0,1\%$$

$$\text{S} \leq 0,03\%$$

$$\text{P} \leq 0,05\%$$

$$0,0005\% \leq \text{B} \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la composition du substrat d'au moins la première ou la seconde tôle comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq \text{C} \leq 0,25\%$$

$$0,8\% \leq \text{Mn} \leq 1,8\%$$

$$0,1\% \leq \text{Si} \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 0,5\%$$

$$\text{Ti} \leq 0,1\%$$

$$\text{Al} \leq 0,1\%$$

$$\text{S} \leq 0,05\%$$

$$\text{P} \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq \text{B} \leq 0,005\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- lors de l'étape de soudage, les bords périphériques à souder des première et seconde tôles d'acier sont disposés à une distance maximum l'un de l'autre de 0,1 millimètres.

- l'énergie linéaire de soudage de ladite source laser lors de l'opération de soudage est supérieure à 0,3 kJ/cm.

- la source laser est soit de type Laser Gaz CO₂ conférant une énergie linéaire de soudage supérieure à 1,4 kJ/cm, soit de type Laser état solide conférant une énergie linéaire de soudage supérieure à 0,3kJ/cm.

- la vitesse de soudage est comprise entre 3 mètres/minutes et 8 mètres/minutes, et la puissance du Laser Gaz CO₂ est supérieure ou égale à 7 kW et la puissance du Laser état solide est supérieure ou égale à 4kW.

- l'étape de soudage est réalisée sous protection gazeuse d'Hélium et/ou d'Argon.

- le débit d'Hélium et/ou d'Argon pendant l'étape de soudage est supérieur ou égal à 15 litres par minute.

- le fil d'apport comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,6\% \leq C \leq 1,5 \%$$

$$1\% \leq Mn \leq 4\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,6\%$$

$$Cr \leq 2\%$$

$$Ti \leq 0,2 \%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- le fil d'apport comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,65\% \leq C \leq 0,75 \%$$

$$1,95\% \leq Mn \leq 2,05\%$$

$$0,35\% \leq Si \leq 0,45\%$$

$$0,95\% \leq Cr \leq 1,05\%$$

$$0,15\% \leq Ti \leq 0,25 \%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

- la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue est comprise entre 12% et 26% et la vitesse de soudage est comprise entre 3 et 7 mètres par minute.

- le couple constitué par ladite proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue et la vitesse de soudage se situe au sein du domaine illustré à la figure 8.

- le couple constitué par ladite proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue et la vitesse de soudage répond aux exigences combinées suivantes :

- la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue est comprise entre 12 % et 26%, et
 - la vitesse de soudage est comprise entre 3 et 7 mètres par minute, et
 - lorsque la vitesse de soudage est supérieure à 3,5 mètres par minute, le couple constitué par la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) et la vitesse de soudage est tel que $Y \leq -3,86X + 39,5$, étant entendu que Y désigne la proportion de métal d'apport exprimée en pourcentage volumique, et que X désigne la vitesse de soudage exprimée en mètre par minute.
- la proportion du métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) est comprise entre 14 et 16%, le débit d'Hélium et/ou d'Argon est compris entre 13 et 17 litres par minute, le diamètre au point d'impact sur la tôle du faisceau laser (30) est compris entre 500 et 700 micromètres, et l'extrémité (32a) du fil d'apport (32) est situé à une distance du point d'impact du faisceau Laser sur la tôle comprise entre 2 et 3 millimètres.
- la vitesse de refroidissement de la zone fondue (35) pendant l'étape de mise en forme à chaud est supérieure ou égale à la vitesse critique de trempe martensitique de la dite zone fondue (35).
- Enfin, l'invention porte sur l'utilisation de la pièce d'acier précédemment décrite pour la fabrication de pièces de structures ou de sécurité pour véhicule notamment automobile.
- D'autres caractéristiques et avantages de l'invention ressortiront clairement de la description qui en est donnée ci-dessous, à titre indicatif et nullement limitatif, en référence aux figures annexées parmi lesquelles :
- la figure 1 déjà présentée représente le profil comparé de la dureté du métal de base et de la zone fondue en fonction de la vitesse de refroidissement lors de l'emboutissage à chaud, pour une pièce d'acier soudée de l'art antérieur,
 - la figure 2 est une représentation schématique d'une tôle utilisée pour mettre en œuvre le procédé de l'invention,
 - la figure 3 est une représentation schématique du début de l'opération de soudage du procédé de l'invention,
 - la figure 4 est une représentation schématique de la fin de l'opération de soudage du procédé de l'invention,

- la figure 5 représente le profil de la résistance mécanique à la rupture en traction de la zone fondue, la sollicitation étant exercée perpendiculairement par rapport au joint soudé, en fonction du pourcentage du métal d'apport dans la zone fondue lors du procédé de l'invention, et pour deux vitesses différentes de refroidissement au cours de l'emboutissage à chaud,

- la figure 6 représente la localisation de la rupture, soit dans le métal de base, soit dans la zone fondue en fonction du rapport entre la teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone du métal de base,

- la figure 7 est un graphique représentant un exemple de profil de microdureté (dureté sous une charge de 200g) d'une pièce d'acier soudée à partir de deux tôles d'épaisseur différente et emboutie selon l'invention et de la zone avoisinante à la dite zone fondue, et

- la figure 8 est un graphique illustrant les conditions limites de fonctionnement optimum du procédé de l'invention en termes de pourcentage de métal d'apport et de vitesse de soudage.

- la figure 9 présente la variation de la ténacité dans la zone fondue en fonction de la température, pour différentes teneurs en carbone.

Selon le procédé de l'invention, on approvisionne deux tôles revêtues par immersion dans un bain d'aluminium fondu selon un procédé dit « au trempé » en continu conformément à la publication EP971044. Le terme de tôle est entendu dans un sens large comme toute bande ou objet obtenu par découpe à partir d'une bande, d'une bobine ou d'une feuille.

Le bain d'aluminium faisant l'objet de l'opération d'immersion peut comporter en outre de 9 à 10% de silicium et de 2 à 3,5% de fer.

L'acier constituant le substrat en acier des tôles présente la composition suivante, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

Préférentiellement, la composition de l'acier sera la suivante :

$$0,15\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 2,3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,03\%$$

$$P \leq 0,05\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

Plus préférentiellement, et en accord avec la description qui suit, la composition de l'acier sera la suivante :

$$0,15\% \leq C \leq 0,25\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,8\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,5\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,005\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

La composition des tôles destinées à être soudées entre elles peut être identique ou différente.

Le revêtement, qui sera dénommé « pré-revêtement » à ce stade dans la description qui suit, présente les caractéristiques suivantes résultant de l'immersion de la tôle dans le bain d'aluminium : en référence à la figure 2, le pré-revêtement 3 de la tôle 4 présente deux couches 5,7 de nature différente.

En premier lieu, une couche d'alliage intermétallique 5 de type AlSiFe est en contact sur la surface du substrat en acier 6 de la tôle 4. Cette couche d'alliage

intermétallique 5 résulte de la réaction entre le substrat en acier 6 et le bain d'aluminium.

Par ailleurs, cette couche d'alliage intermétallique 5 est surmontée d'une couche d'alliage métallique 7 qui forme une couche superficielle du pré-revêtement 3.

Le pré-revêtement 3 est présent sur les deux faces opposées 8a, 8b de la tôle 4.

Selon le procédé de l'invention, la couche d'alliage métallique 7 est retirée au niveau de la périphérie 9 de la tôle 4 qui est destinée à subir l'opération subséquente de soudage.

Sur la figure 2, seule la face supérieure 8a fait l'objet de ce retrait, mais avantageusement, la couche d'alliage métallique 7 sera retirée périphériquement au niveau des deux faces opposées 8a, 8b de la tôle 4.

La couche d'alliage intermétallique 5 subsiste ainsi au niveau de la périphérie 9 de la tôle 4 destinée à faire l'objet de l'opération de soudage.

L'ablation de la couche métallique 7 peut être réalisée par une opération de brossage puisque la couche métallique 7 retirée présente une dureté inférieure à la dureté de la couche d'alliage intermétallique 5 qui subsiste.

L'homme du métier saura adapter les paramètres concernant le brossage pour permettre l'enlèvement de la couche métallique 7 à la périphérie 9 de la tôle 4.

Il est également possible d'effectuer le retrait de la couche d'alliage métallique par un faisceau laser dirigé vers la périphérie 9 de la tôle 4.

L'interaction entre le faisceau laser et le pré-revêtement 3 provoque une vaporisation et une expulsion de la couche d'alliage métallique 7.

La largeur de l'enlèvement de la couche d'alliage métallique 7 au niveau de la périphérie 9 de la tôle 4 est comprise entre 0,2 et 2,2 millimètres.

Par ailleurs, l'épaisseur de la couche d'alliage intermétallique 5 subsistant au niveau de la périphérie 9 de la tôle 4 présente une épaisseur de l'ordre de 5 micromètres.

Ces deux modes d'ablation (brossage et laser) de la couche d'alliage métallique font l'objet de la publication EP2007545.

Les opérations de découpe préalable de la tôle 4, ainsi que l'opération d'enlèvement de la couche d'alliage métallique 7 telle que précédemment décrite,

peuvent conduire à entraîner une partie du pré-revêtement 3 au niveau de la tranche 10 de la périphérie 9 de la tôle 4 destinée à faire l'objet de l'opération de soudage. Il en résulte alors des traces d'aluminium ou d'alliage d'aluminium au niveau de cette tranche 10.

Selon le procédé de l'invention, ces traces d'aluminium ou d'alliage d'aluminium au niveau de la tranche 10 de la tôle 4 sont également retirées par brossage préalablement à l'opération de soudage.

En référence à la figure 3, une première tôle 11 et une seconde tôle 12 présentant chacune un substrat respectif 25,26 et présentant chacune sur leurs faces respectives opposées 13a,13b ; 14a ; 14b un pré-revêtement 15,16 constitué d'une couche d'alliage intermétallique 17,18 surmontée d'une couche d'alliage métallique 19,20, sont amenées en bout à bout selon les pratiques habituelles du soudage laser par contact entre leurs périphéries respectives 21,22 sur lesquelles d'une part la couche d'alliage métallique 19,20 a été retirée au niveau de leurs faces opposées 13a,13b ; 14a ; 14b, et sur les tranches 23,24 desquelles le pré-revêtement 15,16 entraîné lors de l'opération de cisailage, a également été ôté.

La distance maximum entre les tranches respectives 23,24 des deux tôles 11,12 est de 0,1 millimètre, l'aménagement de ce jeu entre les tranches 23,24 des deux tôles 11,12 favorisant le dépôt du métal d'apport lors de l'opération de soudage.

Comme illustré sur la figure 3, l'opération de soudage selon le procédé de l'invention consiste en un faisceau laser 30 dirigé au niveau de la jonction entre les deux tôles 11,12, combiné à un fil d'apport 32 fondant au point d'impact 31 du faisceau Laser. Il s'agit donc d'un procédé de soudage laser avec métal d'apport.

La source laser utilisée doit être de haute puissance et peut être choisie parmi une source laser de type laser gaz CO₂ de longueur d'onde de 10 micromètres ou une source laser état solide de longueur d'onde de 1 micromètre.

En raison de l'épaisseur des deux tôles 11,12 qui est inférieure à 3 millimètres, la puissance du laser gaz CO₂ sera supérieure ou égale à 7 kilowatts tandis que la puissance du laser état solide sera supérieure ou égale à 4 kilowatts.

Par ailleurs, le diamètre du faisceau laser à l'endroit de son impact sur les tôles sera d'environ 600 micromètres pour les deux types de source laser.

Enfin, l'extrémité 32a du fil d'apport 32 sera située à environ 3 millimètres par rapport au point d'impact P du faisceau laser 30 sur la jonction entre les tôles 11 et 12 pour une source laser état solide et à environ 2 millimètres du faisceau laser 30 pour une source laser de type laser gaz CO₂.

Ces conditions vont permettre d'obtenir une fusion complète du fil d'apport 32 ainsi qu'un mélange satisfaisant avec le substrat en acier au niveau de la soudure.

Par ailleurs, ces puissances vont permettre de mettre en œuvre une vitesse de soudage suffisante pour éviter la précipitation de nitrures de bore et/ou d'autres problèmes de ségrégation.

Le fil d'apport doit répondre à deux exigences :

- en premier lieu, la quantité de métal apporté par ce fil d'apport 32 doit permettre à la source laser de provoquer sa fusion en totalité et de générer un mélange relativement homogène au niveau de la soudure. Par ailleurs, la quantité de métal apportée ne doit pas conduire à une surépaisseur de la soudure de plus de 10% par rapport à l'épaisseur la moins importante des deux tôles si ces dernières ne présentent pas la même épaisseur, conformément aux normes qualité automobile en vigueur.

- en outre, la composition du fil d'apport doit permettre, en combinaison avec les autres paramètres du procédé de soudage, l'obtention d'une soudure dont les caractéristiques de résistance mécanique sont comparables, après déformation à chaud et refroidissement, aux caractéristiques de résistance mécanique des première 11 et seconde 12 tôles soudées.

Enfin, au cours de l'étape de soudage, une protection gazeuse doit être assurée pour éviter l'oxydation et la décarburation de la zone faisant l'objet de la soudure, pour éviter la formation de nitrure de bore dans la zone fondue et les phénomènes éventuels de fissuration à froid induits par l'absorption d'hydrogène.

Cette protection gazeuse est réalisée par l'utilisation d'Hélium et/ou d'Argon.

En référence à la figure 4, l'opération de soudage conduit à la formation d'une zone fondue 35 à la jonction entre les deux tôles 11,12 qui se solidifie ultérieurement en formant la soudure. La dénomination de « zone fondue » est conservée pour identifier cette soudure, même après solidification de cette zone fondue 35.

On peut prévoir pour les parties qui subiraient un refroidissement local moins rapide lors de l'emboutissage à chaud d'apporter un fil d'apport uniquement dans certaines parties de la longueur de la zone fondue et ne pas apporter de fil d'apport dans les jonctions restantes.

Le flan soudé 37 résultant de l'opération de soudage présente ainsi une zone fondue 35 dépourvue d'alliage intermétallique du fait de l'enlèvement préalable de la couche d'alliage métallique 19,20 comme explicité précédemment.

Par ailleurs, comme le montre la figure 4, les abords 36 à proximité directe de la zone fondue 35 sont exempts de couche d'alliage métallique 19,20 en raison du fait que la largeur de la zone fondue 35 est inférieure à la largeur de la zone de soudage ne comportant pas de couche d'alliage métallique 19,20.

Bien que la figure 4 illustre le cas simple d'un flan soudé réalisé à partir d'une première 11 et d'une seconde 12 tôles, il est possible de mettre en œuvre l'invention à partir d'un plus grand nombre de tôles soudées entre elles.

Le flan soudé 37 ainsi obtenu subit ensuite un chauffage de façon à obtenir une transformation austénitique dans l'ensemble des parties de ce flan. On déforme celui-ci à chaud, préférentiellement par emboutissage à chaud. Cette étape est suivie d'un refroidissement opéré par contact dans l'outil d'emboutissage à une vitesse de refroidissement dont il sera discuté plus loin, et conduit à l'obtention d'une pièce d'acier soudée.

Dans la description qui suit, la référence à une pièce d'acier soudée se rapporte à la pièce finie issue de l'emboutissage à chaud du flan soudé dont la réalisation est décrite plus haut.

Pour un acier de type 22MnB5 (C=0,20-0,25%, Mn=1,1-1,35%, Si=0,15-0,35%, Al=0,020-0,060%, Ti=0,020-0,050%, Cr=0,15-0,30%, B=0,002-0,004%, les teneurs étant exprimées en poids et le solde étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration), le tableau 1 ci-dessous présente les conditions de procédé de soudage utilisées pour réaliser une pièce d'acier soudée pour laquelle la dureté de la zone fondue et emboutie à chaud est au moins égale à la dureté de l'une ou l'autre des deux tôles 11,12.

Ces conditions sont données en termes de vitesse de soudage, de proportion volumique de métal d'apport par rapport à la zone fondue et de composition chimique du fil d'apport exprimé en pourcentage massique. Les essais ayant conduit à ces conditions limites ont été réalisés avec une source

laser gaz CO₂ de puissance supérieure à 7 kilowatts et une source laser état solide de puissance supérieure à 4 kilowatts sous protection gazeuse d'Hélium et/ou d'Argon de débit supérieur à 15 litres/minutes.

	Vitesse de soudage (m/mn)	Proportion de métal d'apport (%)	Composition du fil d'apport – % massique				
			C	Mn	Si	Cr	Ti
Minimum	3	10	0,6	1	0,1	0	0
Maximum	8	26	1,5	4	0,6	2	0,2

Tableau 1

Dans le cadre d'un autre exemple, des essais sont réalisés avec un fil d'apport dont la composition comprend les teneurs en poids suivantes : C=0,7%, Si=0,4%, Mn=2%, Cr=1% et Ti=0,2, le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration.

Les essais sont réalisés avec une source laser gaz CO₂ de puissance supérieure à 7 kilowatts et une source laser état solide de puissance supérieure à 4 kilowatts sous protection gazeuse d'Hélium et/ou d'Argon de débit supérieur à 15 litres/minutes. Tous les résultats obtenus présentés ci après sont similaires quelle que soit la source laser utilisée.

En référence à la figure 8, l'aspect de la zone fondue et la qualité du mélange du fil d'apport et du métal fondu sont examinés pour des pourcentages de métal d'apport et des vitesses de soudage différentes.

Pour les points expérimentaux référencés 40 et 41, les résultats en termes de dilution et d'aspect de surface de la zone fondue sont satisfaisants, tandis que pour les points expérimentaux référencés 42, les résultats ne sont pas satisfaisants.

La figure 5 illustre la résistance à la rupture en traction de la pièce d'acier soudée emboutie à chaud en fonction du pourcentage de métal d'apport dans la zone fondue, pour deux vitesses de refroidissement de 30 et 50°C/s.

Les points expérimentaux référencés 43 correspondent à une vitesse de refroidissement de 30°C par seconde et les points expérimentaux référencés 44 correspondent à une vitesse de refroidissement de 50 °C par seconde. Ces deux

vitesse correspondent respectivement à une extraction efficace de la chaleur grâce à un contact étroit entre la pièce et l'outillage de presse (50°C/s) et à un contact moins étroit en raison d'une pression de serrage moins élevée et/ou d'une différence d'épaisseur entre les tôles à souder (30°C/s)

Lorsque les flans soudés emboutis à chaud sont refroidis à une vitesse de 50°C par seconde, la résistance mécanique à la rupture est comprise entre 1470 et 1545 MPa et la rupture intervient dans le métal de base.

Lorsque les flans soudés emboutis à chaud sont refroidis à une vitesse de 30°C par seconde, et lorsque la proportion volumique de métal d'apport est comprise entre 4,3 et 11,5%, la rupture s'effectue dans la zone fondue et la résistance mécanique à la rupture est comprise entre 1230 et 1270 MPa.

En revanche, lorsque les flans soudés emboutis à chaud sont refroidis à une vitesse de 30°C par seconde, et lorsque la proportion volumique de métal d'apport est de 14,7%, la rupture s'effectue dans le métal de base avec une résistance mécanique de 1410 MPa.

Ainsi, une proportion de métal d'apport supérieure à 12% permet d'obtenir systématiquement une rupture en dehors du joint soudé, ceci aussi bien dans des zones refroidies efficacement dans la pièce emboutie, que dans les zones refroidies moins efficacement.

La figure 6 présente la localisation de la rupture, soit dans le métal de base selon le palier 45, soit dans la zone fondue selon le palier 46, lorsque les joints soudés sont soumis à une traction uniaxiale perpendiculaire au joint, en fonction du rapport entre la teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone du métal de base et ce, à partir des points expérimentaux 43, 44 présentés en référence à la figure 5 et référencés respectivement 43a et 44a sur la figure 6.

On fait apparaître que lorsque ce rapport est supérieur à 1,27 (droite D1), la rupture se produit systématiquement dans le métal de base et ce, en dépit des modifications de trempabilité dues à la présence d'aluminium dans la zone fondue, et en dépit de la vitesse de refroidissement plus lente résultant d'un contact imparfait entre la pièce et l'outillage. Il est également indiqué sur la figure 6 qu'au delà d'un rapport de 1,59 (droite D2), il apparaît une fragilité particulière.

Ce rapport maximum de 1,59 entre la teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone du métal de base est également obtenu en déterminant les conditions critiques qui conduisent à la rupture brutale d'une soudure à

structure martensitique comportant un défaut de surface, sollicitée perpendiculairement au sens de soudage.

A cet effet, on considère le cas de deux tôles 11,12 dont l'épaisseur w est de 3 millimètres, et d'un défaut de type caniveau dans la zone fondue dont la profondeur est de 10% de l'épaisseur des tôles 11,12, soit d'une profondeur a de 0,3 millimètres.

L'expression du facteur d'intensité de contrainte K_I exprimé en $\text{MPa}\sqrt{m}$ est la suivante :

$$K_I = k\sigma\sqrt{\pi a}$$

dans laquelle

- k est le facteur de forme, déterminé notamment à partir du rapport a/w
- σ est la contrainte appliquée à la soudure, exprimée en MPa, et
- a est la profondeur du défaut considéré exprimé en mètres.

Pour évaluer le facteur d'intensité de contrainte, on considère un cas de sollicitation sévère, où la contrainte appliquée σ est égale à la limite d'élasticité R_e .

Le tableau 2 ci-dessous exprime la limite d'élasticité R_e et le facteur d'intensité de contrainte K_I pour des teneurs en carbone dans la zone fondue variant entre 0,2% et 0,4%, pour une microstructure martensitique.

	0,2% C	0,3% C	0,35% C	0,4% C
R_e (MPa)	1200	1350	1425	1500
K_I ($\text{MPa}\sqrt{m}$)	41,3	46,4	49,0	51,6

Tableau 2

On se réfère à la figure 9 sur laquelle est reportée la variation du facteur d'intensité de contrainte critique K_{IC} en fonction de la température, pour des teneurs en carbone variant entre 0,2 et 0,4% et des microstructures martensitiques. La courbe 60 concerne une teneur en carbone de 0,2%C, la courbe 61 concerne une teneur en carbone de 0,3%C, la courbe 62 concerne une teneur en carbone de 0,35%C et la courbe 63 concerne une teneur en carbone de 0,4%C.

On reporte sur cette figure 9 les valeurs du facteur d'intensité de contrainte K_I exprimées dans le tableau 2 pour chacune des teneurs en carbone respectivement référencés 64 pour une teneur en carbone de 0,2%C, 65 pour une teneur en carbone de 0,3%, 66 pour une teneur en carbone de 0,35% et 67 pour une teneur en carbone de 0,4%.

Le risque de rupture brutale à -50°C de la soudure est donc évité lorsque la ténacité K_{IC} à cette température est supérieure au facteur d'intensité de contrainte K_I .

On constate à la figure 9 que cette condition est remplie pour autant que la teneur en carbone n'excède pas 0,35%.

On aboutit ainsi à une teneur maximum en carbone dans la zone fondue de 0,35%. En considérant un joint soudé réalisé à partir de deux tôles d'acier de type 22MnB5, c'est-à-dire contenant 0,22%C de carbone, la valeur limite du rapport entre la teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone de la tôle d'acier, au-delà duquel existe un risque de rupture brutale dans la zone fondue, est donc égal à 1,59.

Par ailleurs, le fait que la rupture intervienne toujours dans le métal de base au-delà de cette valeur de 1,27 est inattendu car la ténacité du métal fondu décroît lorsque la teneur en carbone augmente. Conjugué à l'effet de concentration de contraintes inévitable dans le joint soudé, la rupture aurait dû plutôt intervenir dans le métal fondu par manque de ténacité pour les teneurs en carbone les plus élevées.

A cet effet, on a comparé le risque de rupture brutale à -50°C dans une soudure, tel que déterminé dans les conditions ci-dessus, avec le risque de rupture brutale à cette même température dans le métal de base, celui-ci comportant un défaut dans l'épaisseur de son revêtement métallique.

On considère un micro-défaut de 30 micromètres de profondeur correspondant à l'épaisseur du revêtement d'alliage métallique. Pour un acier de type 22MnB5 avec une teneur en carbone de 0,22%, la limite d'élasticité R_e est de 1250 MPa. Si cet acier est sollicité sous un niveau de contrainte égale à sa limite d'élasticité, le facteur d'intensité de contrainte K_I est de $13,6 \text{ MPa} \cdot \sqrt{m}$.

En reportant cette dernière valeur sur la figure 9 sous la référence 68, on constate que théoriquement, la rupture brutale devrait se produire dans la zone fondue et non dans le métal de base. Or contrairement à ce qui était attendu, les

inventeurs ont constaté que lorsque le rapport entre teneur en carbone de la zone fondue et la teneur en carbone du métal de base est compris entre 1,27 et 1,59, la rupture intervient systématiquement dans le métal de base et non dans la zone fondue. En résumé, les inventeurs ont constaté que l'augmentation de la teneur carbone dans cette gamme spécifique permettait d'accroître les caractéristiques de résistance de la zone fondue de la pièce emboutie à chaud, et ceci sans dégradation du risque de rupture brutale dans cette zone, effet qui n'était pas attendu.

Par ailleurs, les inventeurs ont cherché à définir une méthode simple pour définir la zone de l'invention à partir des caractéristiques de dureté de la zone fondue et du métal de base avoisinant sur la pièce emboutie à chaud. La dureté importante de la zone fondue est liée à sa microstructure martensitique exempte de ferrite. Il est connu que la dureté d'un acier à structure martensitique dépend principalement de sa teneur en carbone. Par conséquent, il est possible de définir à partir des résultats ci-dessus, le rapport Z entre la dureté de la zone fondue et la dureté du métal de base avoisinant qu'il convient de respecter.

Dans le cas du soudage de tôles de composition différente, Cmax désigne la teneur en carbone de celle des tôles qui comporte la plus forte teneur en carbone. Dans le cas de soudage de tôles identiques, Cmax désigne leur teneur en carbone. Une rupture dans le métal de base lors d'une sollicitation en traction d'un joint soudé intervient lorsque le rapport Z est supérieur à une valeur critique dépendant de Cmax soit $1,029 + (0,36 \text{ Cmax})$.

Pour le soudage de tôles identiques contenant 0,22%C, une rupture en métal de base est ainsi observée lorsque le rapport Z est supérieur à 1,108, c'est-à-dire lorsque la dureté de la zone fondue excède d'environ 11% la dureté du métal de base.

En référence à la figure 7, les courbes 47 et 48 représentent l'évolution de la microdureté dans la zone soudée et dans les zones avoisinantes de la zone soudée représentée sur les micrographies respectives M1 et M2, pour un pourcentage volumique de métal d'apport de 15% et pour des épaisseurs différentes de tôles soudées.

Pour la courbe 47, relative à une vitesse de refroidissement de 30°C par seconde, les mesures de microdureté sont effectuées au niveau du bord latéral de

la zone fondue à mi-épaisseur de la tôle la plus fine comme illustré sur la micrographie M1 par la ligne pointillée X1.

Pour la courbe 48, relative à une vitesse de refroidissement de 50°C par seconde les mesures de microdureté sont effectuées au niveau du fond de la zone soudée à mi-épaisseur de la tôle la plus fine comme illustré sur la micrographie M2 par la ligne pointillée X2.

En référence à la figure 8, les conditions limites préférentielles en termes de pourcentage de métal d'apport et de vitesse de soudage pour la composition spécifique de fil d'apport définie plus haut et comprenant une teneur en carbone de 0,7% sont définies par la zone hachurée 50.

Cette zone 50 est délimitée par quatre frontières 51, 52, 53, 54.

La première frontière 51 définit la limite inférieure de pourcentage du métal d'apport. Le pourcentage de métal d'apport doit ainsi être supérieur à 12% pour éviter que la zone soudée ne présente des caractéristiques de résistance mécanique trop faibles.

La deuxième frontière 52 définit la limite supérieure de pourcentage du métal d'apport. Le pourcentage de métal d'apport doit ainsi être inférieur à 26% puisque au delà de cette limite, la zone soudée présente une fragilité incompatible avec les propriétés requises.

La troisième frontière 53 définit la limite inférieure de la vitesse de soudage. La vitesse de soudage doit ainsi être supérieure à 3 mètres par minutes de façon à obtenir une géométrie satisfaisante du cordon de soudure et à éviter les phénomènes d'oxydation.

Enfin, la quatrième frontière 54 définit la limite supérieure de la vitesse de soudage et présente une forme courbe.

Cette quatrième frontière 54 est définie à partir des points expérimentaux 40,41,42 déjà discutés et pour lesquels les points expérimentaux 42 correspondent à des échantillons pour lesquels le mélange entre le métal d'apport et le métal de base est insuffisant et/ou la soudure n'est pas suffisamment pénétrante.

Par ailleurs, la conformation courbée de cette quatrième frontière 54 est estimée au regard des impératifs propres à l'opération de soudage.

En effet, la capacité de la source laser à faire fondre le fil d'apport et à engendrer un mélange relativement homogène influe sur le pourcentage maximum de métal d'apport et sur la vitesse de soudage.

A cet effet, pour une vitesse de soudage de 4 mètres par minutes par exemple, le pourcentage de métal d'apport ne sera pas supérieur à environ 25%.

Pour une vitesse de soudage plus élevée, la proportion de métal d'apport sera limitée.

En approximation de cette quatrième frontière 54, on estime l'équation de la droite 55 passant par un premier point 56 situé à la jonction entre la partie supérieure de la quatrième frontière 54 et la deuxième frontière 52, et par un second point 57 situé à la jonction entre la partie inférieure de la quatrième frontière 54 et la première frontière 51.

L'équation de cette droite 55 est $Y = -3,86X + 39,5$ ou Y est le pourcentage de métal d'apport et X est la vitesse de soudage exprimée mètre par minutes.

On pourra ainsi considérer de façon approximative que la quatrième frontière définissant la limite maximum de la vitesse de soudage est définie par la droite 55 pour une vitesse de soudage supérieure à 3,5 mètres par minute.

Ainsi, l'invention permet de réaliser de façon économique des pièces de structures et de sécurité pour le domaine automobile.

REVENDICATIONS

1. Pièce d'acier soudée, à très hautes caractéristiques de résistance mécanique, obtenue à partir d'un chauffage dans le domaine austénitique suivi d'une mise en forme à chaud puis d'un refroidissement d'au moins un flan soudé obtenu par soudage en bout à bout d'au moins une première et une seconde tôles constituées au moins en partie d'un substrat en acier et d'un pré-revêtement qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique en contact avec le substrat en acier, surmontée d'une couche en alliage métallique en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium, caractérisée en ce que les abords (36) à proximité directe de la zone fondue (35) résultant de l'opération de soudage et constituant la liaison entre la première et la seconde tôles (11,12), sont dépourvus de la couche d'alliage métallique (19,20) tout en étant pourvus de la couche d'alliage intermétallique (17,18), et en ce que, sur au moins une partie de la longueur de la zone fondue (35), le rapport entre la teneur en carbone et la teneur en carbone du substrat (25,26) de l'une des première ou seconde tôle (11,12) présentant la teneur en carbone (Cmax) la plus élevée est compris entre 1,27 et 1,59.

2. Pièce d'acier selon la revendication 1, caractérisée en ce que le rapport (Z) entre la dureté de la zone fondue (35) et la dureté du substrat (25,26) de l'une des première ou seconde tôle (11,12) présentant la teneur en carbone (Cmax) la plus élevée, est supérieur à $1,029 + (0,36 \text{ Cmax})$, Cmax étant exprimé en pourcentage pondéral.

3. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq \text{Mn} \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq \text{Si} \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq \text{Cr} \leq 1\%$$

$$\text{Ti} \leq 0,2\%$$

$$\text{Al} \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

4. Pièce d'acier selon la revendication 3, caractérisée en ce que la composition la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 2,3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,03\%$$

$$P \leq 0,05\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

5. Pièce d'acier selon la revendication 3, caractérisée en ce que la composition la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,25\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,8\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,5\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,005\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

6. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la teneur en carbone de la zone fondue (35) est inférieure ou égale à 0,35% en poids.

7. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes caractérisée en ce que la couche d'alliage métallique (17,18) du pré-revêtement(15,16) comprend, les teneurs étant exprimées en poids, entre 8 et 11% de silicium, entre 2 et 4 % en fer, le reste de la composition étant de l'aluminium et des impuretés inévitables.

8. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la microstructure de la zone fondue (35) est dépourvue de ferrite.

9. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que la microstructure de la zone fondue (35) est martensitique.

10. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que ladite mise en forme à chaud du flan soudé est réalisée par une opération d'emboutissage à chaud.

11. Pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications précédentes, caractérisée en ce que les tranches respectives (23,24) des bords périphériques (21,22) des première (11) et seconde (12) tôles destinées à subir l'opération de soudage sont dépourvues d'aluminium ou d'alliage d'aluminium dont la présence peut résulter d'une opération préalable de découpe de chacune des première (11) et seconde (12) tôles.

12. Procédé de fabrication d'une pièce d'acier soudée selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, comprenant les étapes successives selon lesquelles :

- on approvisionne au moins une première (11) et une seconde (12) tôles d'acier constituées d'un substrat en acier (25,26) et d'un pré-revêtement (15,16) qui est constitué d'une couche d'alliage intermétallique (17,18) en contact avec le

substrat en acier, surmontée d'une couche d'alliage métallique (19,20) laquelle est en alliage d'aluminium ou à base d'aluminium, et pour lesquelles au moins une face (13a,13b ;14a,14b) d'une partie d'un bord périphérique (21,22) de chacune des première (11) et seconde tôles (12) d'acier destinée à subir l'opération de soudage est dépourvue de la dite couche d'alliage métallique (19,20) en laissant en place la couche d'alliage intermétallique (17,18), et pour lesquelles les tranches respectives (23,24) des bords périphériques (21,22) des première (11) et seconde (12) tôles destinés à subir l'opération de soudage sont dépourvues d'aluminium ou d'alliage d'aluminium dont la présence peut résulter d'une opération préalable de découpe de chacune des première (11) et seconde (12) tôles, puis

- on soude en bout à bout la première (11) et la seconde (12) tôle d'acier au niveau des bords périphériques respectifs (21,22) de ces première (11) et seconde (12) tôles d'acier dépourvus de la couche d'alliage métallique (19,20) au moyen d'une source laser (30) et en utilisant un fil d'apport de matière (32) sur au moins une partie de la longueur de la zone soudée,

- on obtient un flan soudé (37) dans lequel la teneur en carbone de la zone fondue (35) résultant de l'opération de soudage et constituant la liaison entre les première (11) et seconde (12) tôles est comprise entre 1,27 et 1,59 fois la teneur en carbone du substrat (25,26) de la tôle (11,12) présentant la teneur en carbone la plus élevée, puis

- on chauffe ledit flan soudé (37) de manière à conférer dans la zone fondue (35), une structure totalement austénitique, puis

- on met en forme à chaud ledit flan soudé et chauffé pour obtenir une pièce d'acier, puis

- on refroidit ladite pièce d'acier à vitesse contrôlée pour obtenir les caractéristiques de résistance mécanique visées.

13. Procédé selon la revendication 12, caractérisé en ce que les faces opposées (13a, 13b, 14a, 14b) des bords périphériques respectifs (21,22) de chacune des première (11) et seconde tôles d'acier (11,12) sont dépourvues de couche d'alliage métallique (19,20) en laissant en place la couche d'alliage intermétallique (17,18).

14. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 et 13, caractérisé en ce que la largeur de la zone dépourvue de couche d'alliage métallique (19,20) au niveau du bord périphérique (21,22) des première (11) et seconde (12) tôles destiné à subir l'opération de soudage est comprise entre 0,2 et 2,2 millimètres.

15. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 14, caractérisé en ce que la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,10\% \leq C \leq 0,5\%$$

$$0,5\% \leq Mn \leq 3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 1\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,2\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

16. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,4\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 2,3\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 1\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,03\%$$

$$P \leq 0,05\%$$

$$0,0005\% \leq B \leq 0,010\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

17. Procédé selon la revendication 15, caractérisé en ce que la composition du substrat (25,26) d'au moins la première ou la seconde tôle (11,12) comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,15\% \leq C \leq 0,25\%$$

$$0,8\% \leq Mn \leq 1,8\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,35\%$$

$$0,01\% \leq Cr \leq 0,5\%$$

$$Ti \leq 0,1\%$$

$$Al \leq 0,1\%$$

$$S \leq 0,05\%$$

$$P \leq 0,1\%$$

$$0,0002\% \leq B \leq 0,005\%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

18. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 17, caractérisé en ce que lors de l'étape de soudage, les bords périphériques (21,22) à souder des première (11) et seconde (12) tôles d'acier sont disposés à une distance maximum l'un de l'autre de 0,1 millimètres.

19. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 18, caractérisé en ce que l'énergie linéaire de soudage de ladite source laser lors de l'opération de soudage est supérieure à 0,3 kJ/cm.

20. Procédé selon la revendication 19, caractérisé en ce que la source laser est soit de type Laser Gaz CO₂ conférant une énergie linéaire de soudage supérieure à 1,4 kJ/cm, soit de type Laser état solide conférant une énergie linéaire de soudage supérieure à 0,3kJ/cm.

21. Procédé selon l'une quelconque des revendications 19 et 20, caractérisé en ce que la vitesse de soudage est comprise entre 3 mètres/minutes et 8 mètres/minutes, et en ce que la puissance du Laser Gaz CO₂ est supérieure ou égale à 7 kW et la puissance du Laser état solide est supérieure ou égale à 4kW.

22. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 21, caractérisé en ce que l'étape de soudage est réalisée sous protection gazeuse d'Hélium et/ou d'Argon.

23. Procédé selon la revendication 22, caractérisé en ce que le débit d'Hélium et/ou d'Argon pendant l'étape de soudage est supérieur ou égal à 15 litres par minute.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 23, caractérisé en ce que le fil d'apport comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,6\% \leq C \leq 1,5 \%$$

$$1\% \leq Mn \leq 4\%$$

$$0,1\% \leq Si \leq 0,6\%$$

$$Cr \leq 2\%$$

$$Ti \leq 0,2 \%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

25. Procédé selon la revendication 24, caractérisé en ce que le fil d'apport comprend, les teneurs étant exprimées en poids :

$$0,65\% \leq C \leq 0,75 \%$$

$$1,95\% \leq Mn \leq 2,05\%$$

$$0,35\% \leq Si \leq 0,45\%$$

$$0,95\% \leq Cr \leq 1,05\%$$

$$0,15\% \leq Ti \leq 0,25 \%$$

le solde étant du fer et des impuretés inhérentes à l'élaboration.

26. Procédé selon la revendication 25, caractérisé en ce que la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) est comprise entre 12% et 26% et en ce que la vitesse de soudage est comprise entre 3 et 7 mètres par minute.

27. Procédé selon la revendication 26, caractérisé en ce que le couple constitué par ladite proportion de métal d'apport relativement au volume de la

zone fondue (35) et la vitesse de soudage se situe au sein du domaine (50) illustré à la figure 8.

28. Procédé selon la revendication 27, caractérisé en ce que le couple constitué par ladite proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) et la vitesse de soudage répond aux exigences combinées suivantes :

- la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) est comprise entre 12% et 26%, et
 - la vitesse de soudage est comprise entre 3 et 7 mètres par minute, et
- lorsque la vitesse de soudage est supérieure à 3,5 mètres par minute, le couple constitué par la proportion de métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) et la vitesse de soudage est telle que $Y \leq -3,86X + 39,5$, étant entendu que Y désigne la proportion de métal d'apport exprimée en pourcentage volumique, et que X désigne la vitesse de soudage exprimée en mètre par minute.

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 26 à 28, caractérisé en ce que la proportion du métal d'apport relativement au volume de la zone fondue (35) est comprise entre 14 et 16%, le débit d'Hélium et/ou d'Argon est compris entre 13 et 17 litres par minute, en ce que le diamètre au point d'impact sur la tôle du faisceau laser (30) est compris entre 500 et 700 micromètres, et en ce que l'extrémité (32a) du fil d'apport (32) est situé à une distance du point d'impact du faisceau Laser sur la tôle comprise entre 2 et 3 millimètres.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 12 à 29, caractérisé en ce que la vitesse de refroidissement de la zone fondue (35) pendant l'étape de mise en forme à chaud est supérieure ou égale à la vitesse critique de trempe martensitique de la dite zone fondue (35).

31. Utilisation de la pièce d'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 10 pour la fabrication de pièces de structures ou de sécurité pour véhicule notamment automobile.

1 / 5

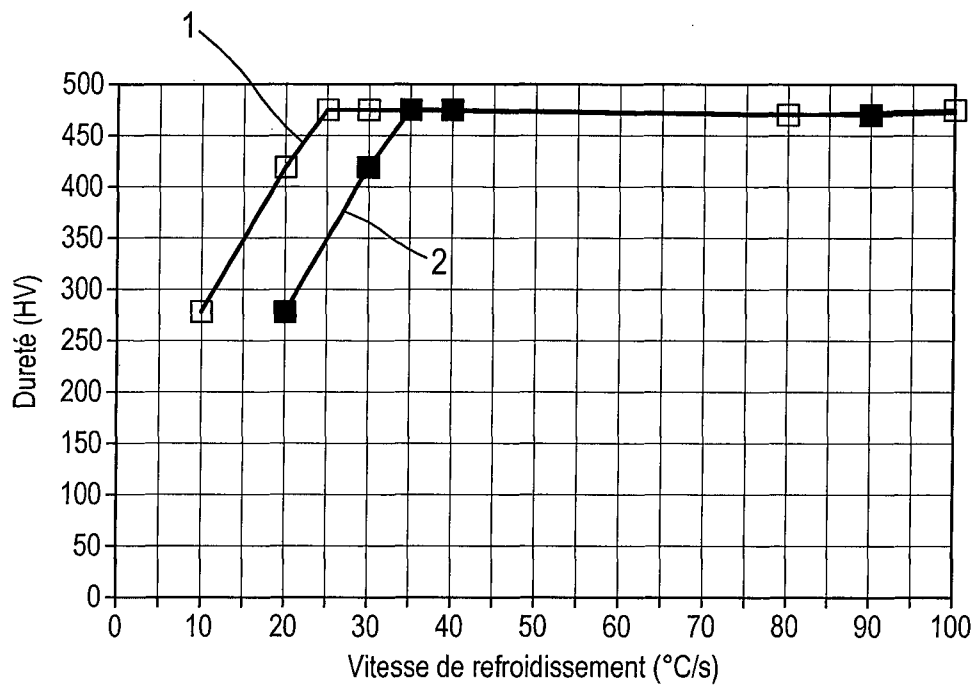


FIG. 1

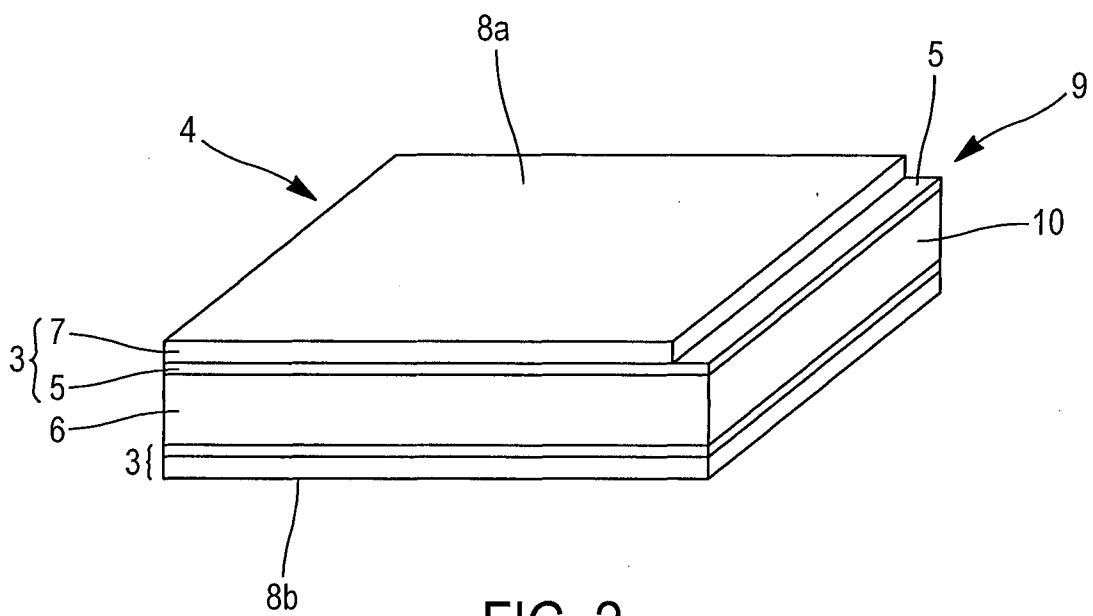


FIG. 2

2 / 5

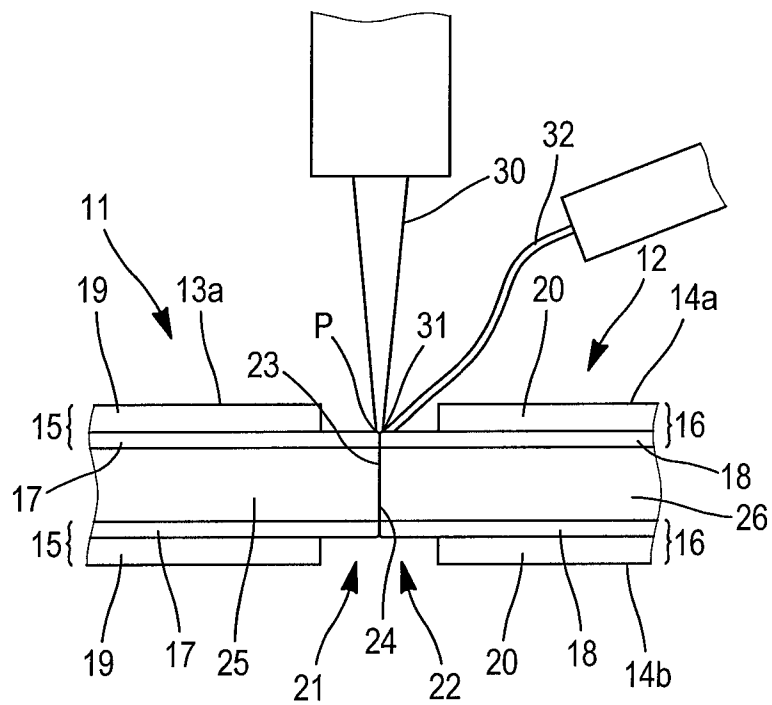


FIG. 3

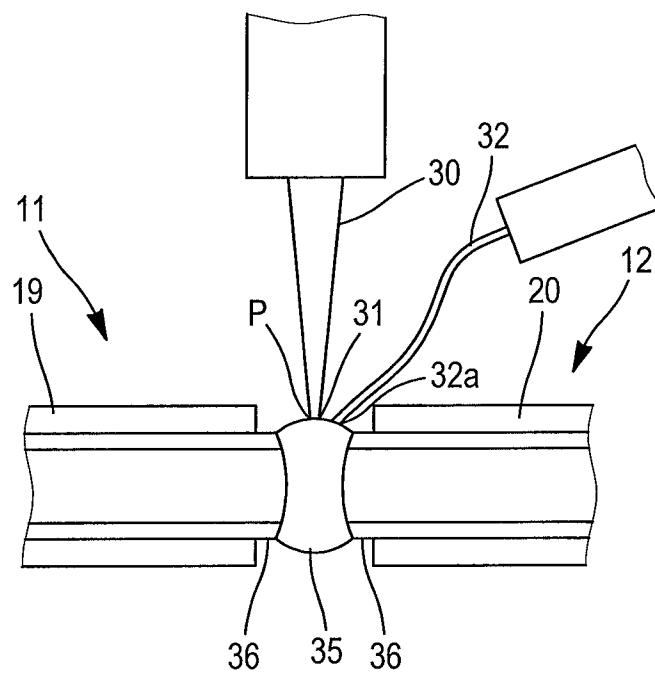


FIG. 4

3 / 5

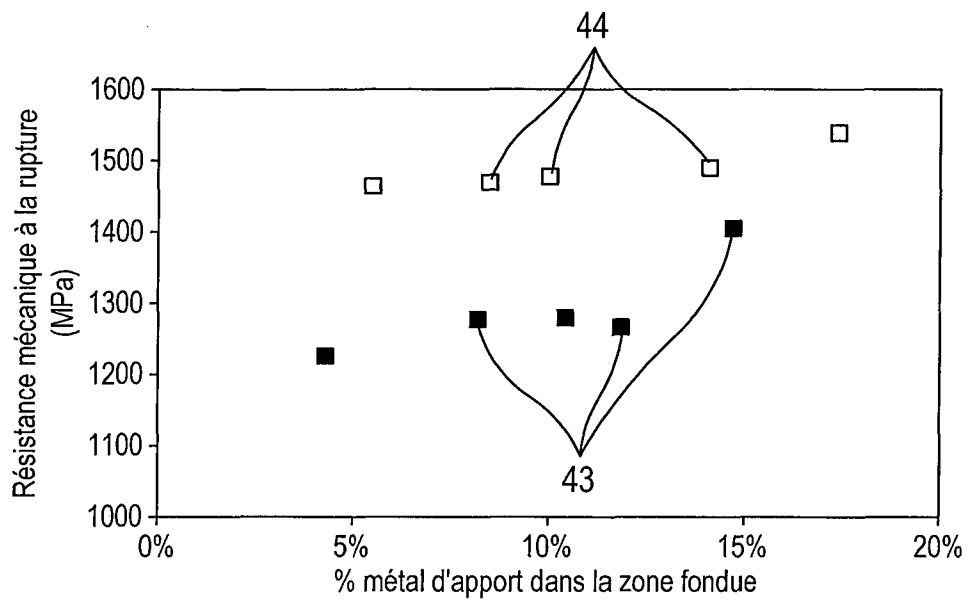


FIG. 5

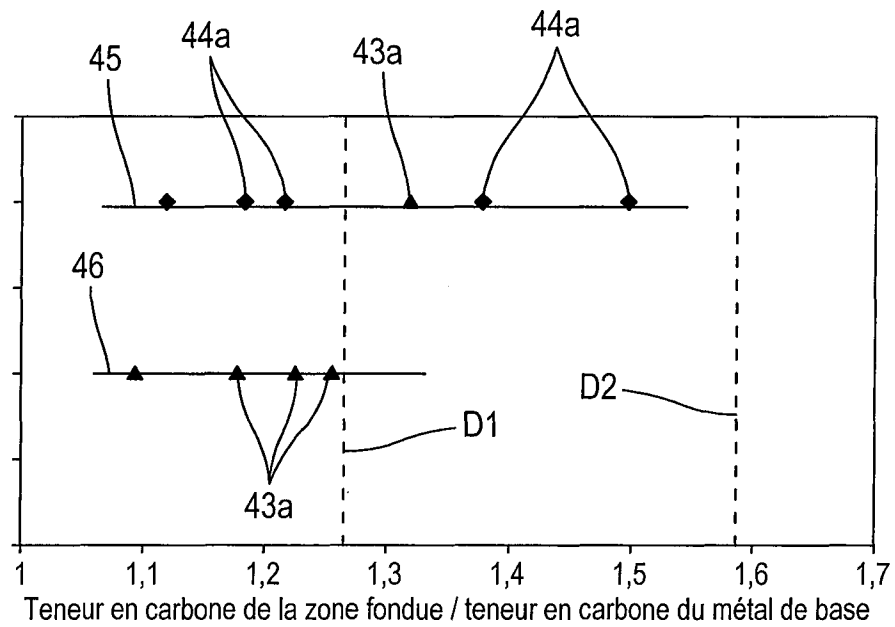


FIG. 6

4 / 5

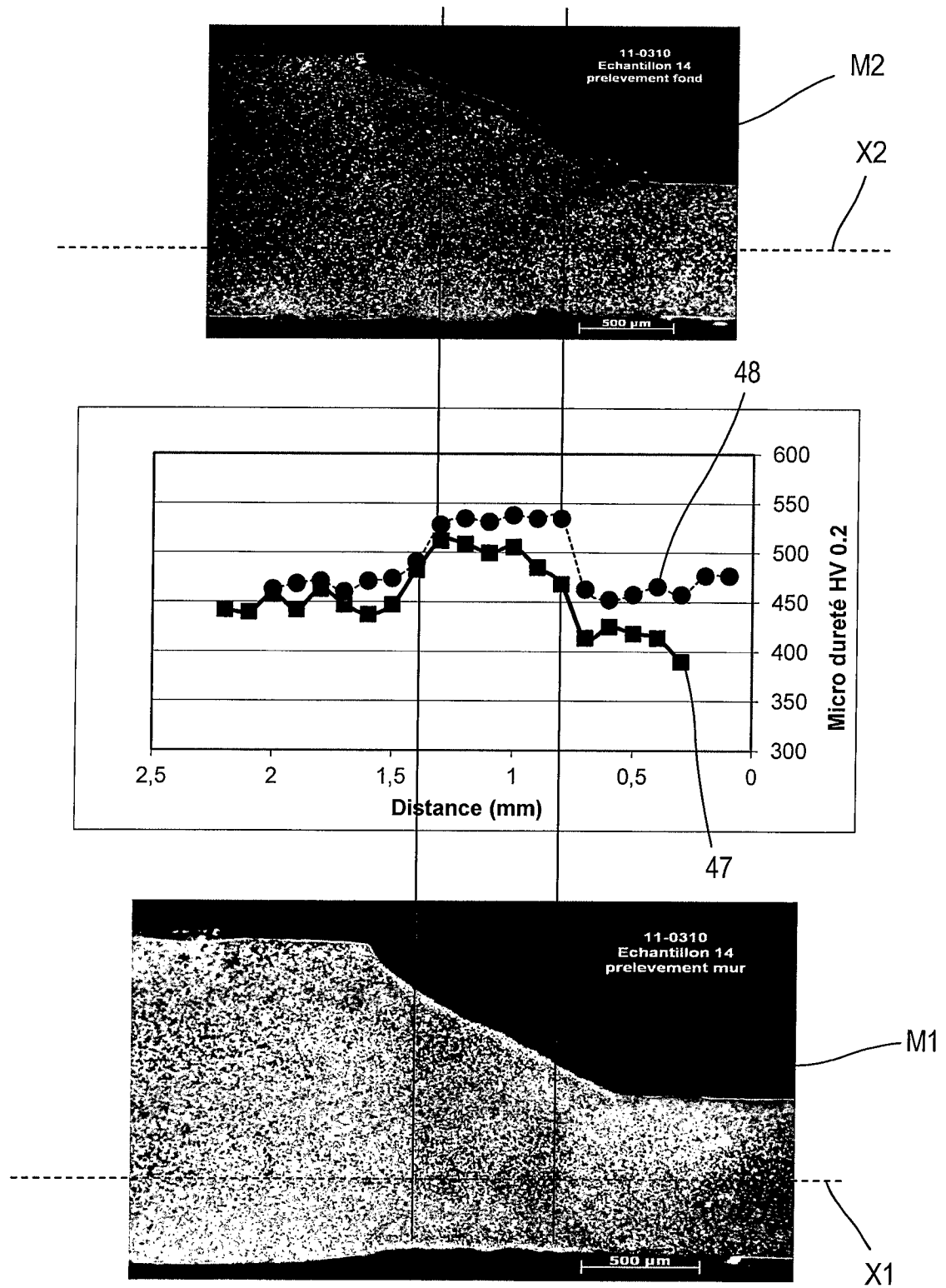


FIG. 7

5 / 5

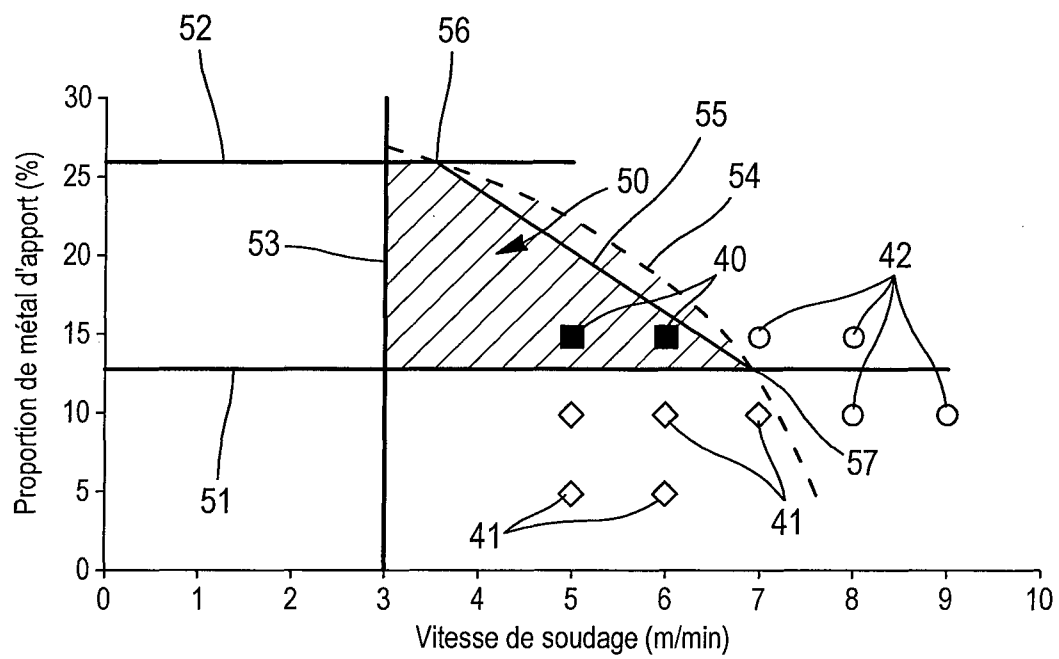


FIG. 8

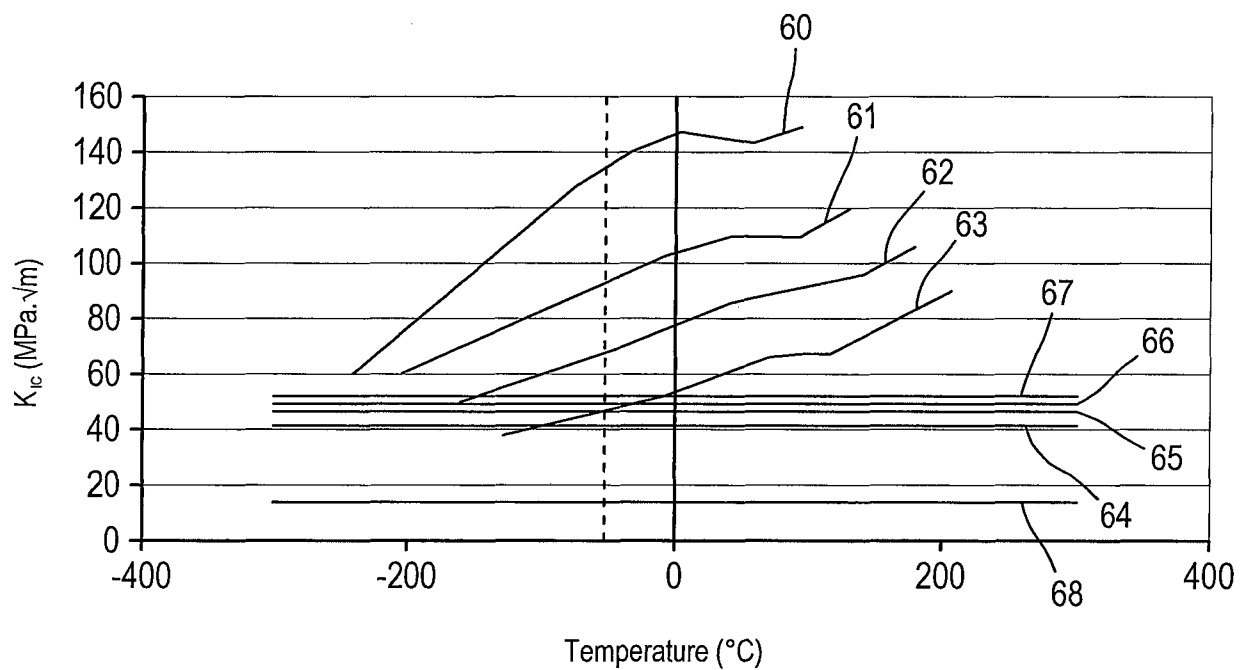


FIG. 9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2012/001418

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER					
INV.	B23K35/02	B23K35/30	B23K35/38	C22C38/04	C22C38/18
	B62D29/00	C21D1/673	C21D9/48	C21D9/50	B32B15/01
	B23K26/32				
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)					
B23K C22C B62D C21D B32B					
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.
Y	WO 2007/118939 A1 (ARCELOR FRANCE [FR]; CANOURGUES JEAN-FRANCOIS [FR]; PIC AURELIEN [FR];) 25 October 2007 (2007-10-25) cited in the application page 12, line 25 - page 15, line 31 Example; page 15, line 34 - page 19, line 21 page 19, lines 24-27 the whole document				1-31
Y	EP 1 878 531 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 16 January 2008 (2008-01-16) cited in the application paragraph [0032] - paragraph [0034]				1-31

	-/-				
☒ 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			Date of mailing of the international search report		
31 October 2012			07/11/2012		
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 Ugarte, Eva		

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/IB2012/001418

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 6 290 905 B1 (WATANABE OSAMU [JP] ET AL) 18 September 2001 (2001-09-18) abstract the whole document -----	1-31
A	MAAS J ET AL: "Tailored blanks in hot stamping", THYSSENKRUPP TECHFORUM - ENGLISH EDITION, THYSSENKRUPP, DUSSELDORF, DE, no. 1, 1 January 2008 (2008-01-01), pages 28-31, XP001519906, ISSN: 1612-2771 the whole document -----	1-31

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/IB2012/001418

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2007118939	A1	25-10-2007	AT 437720 T 15-08-2009
		BR PI0709937 A2 02-08-2011	
		CA 2649491 A1 08-11-2007	
		CN 101426612 A 06-05-2009	
		DE 202007018832 U1 17-09-2009	
		EP 2007545 A1 31-12-2008	
		ES 2328298 T3 11-11-2009	
		JP 2009534529 A 24-09-2009	
		KR 20090005004 A 12-01-2009	
		MA 30458 B1 01-06-2009	
		PT 2007545 E 07-09-2009	
		RU 2008141272 A 27-04-2010	
		SI 2007545 T1 31-12-2009	
		US 2009220815 A1 03-09-2009	
		US 2012074106 A1 29-03-2012	
		WO 2007118939 A1 25-10-2007	
		WO 2007125182 A1 08-11-2007	
		ZA 200807974 A 24-02-2010	
EP 1878531	A1	16-01-2008	AT 477878 T 15-09-2010
		BR PI0703305 A 26-02-2008	
		CA 2593208 A1 12-01-2008	
		CN 101104225 A 16-01-2008	
		CN 102151952 A 17-08-2011	
		EP 1878531 A1 16-01-2008	
		EP 2168710 A1 31-03-2010	
		ES 2350654 T3 25-01-2011	
		FR 2903623 A1 18-01-2008	
		JP 2008018470 A 31-01-2008	
		JP 2011125931 A 30-06-2011	
		US 2008011720 A1 17-01-2008	
		US 2011226746 A1 22-09-2011	
US 6290905	B1	18-09-2001	DE 69724569 D1 09-10-2003
			DE 69724569 T2 08-07-2004
			EP 0850719 A1 01-07-1998
			US 6059177 A 09-05-2000
			US 6290905 B1 18-09-2001

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Demande internationale n°

PCT/IB2012/001418

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE INV. B23K35/02 B23K35/30 B23K35/38 C22C38/04 C22C38/18 B62D29/00 C21D1/673 C21D9/48 C21D9/50 B32B15/01 B23K26/32					
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) B23K C22C B62D C21D B32B					
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
Y	WO 2007/118939 A1 (ARCELOR FRANCE [FR]; CANOURGUES JEAN-FRANCOIS [FR]; PIC AURELIEN [FR];) 25 octobre 2007 (2007-10-25) cité dans la demande page 12, ligne 25 - page 15, ligne 31 Exemple; page 15, ligne 34 - page 19, ligne 21 page 19, ligne 24-27 le document en entier -----				1-31
Y	EP 1 878 531 A1 (AIR LIQUIDE [FR]) 16 janvier 2008 (2008-01-16) cité dans la demande alinéa [0032] - alinéa [0034] ----- -/--				1-31
☒ 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			Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale		
31 octobre 2012			07/11/2012		
Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale			Fonctionnaire autorisé		
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016			Ugarte, Eva		

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	US 6 290 905 B1 (WATANABE OSAMU [JP] ET AL) 18 septembre 2001 (2001-09-18) abrégé le document en entier -----	1-31
A	MAAS J ET AL: "Tailored blanks in hot stamping", THYSSENKRUPP TECHFORUM - ENGLISH EDITION, THYSSENKRUPP, DUSSELDORF, DE, no. 1, 1 janvier 2008 (2008-01-01), pages 28-31, XP001519906, ISSN: 1612-2771 le document en entier -----	1-31

RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

Demande internationale n°

PCT/IB2012/001418

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 2007118939	A1	25-10-2007	AT 437720 T 15-08-2009
		BR PI0709937 A2 02-08-2011	
		CA 2649491 A1 08-11-2007	
		CN 101426612 A 06-05-2009	
		DE 202007018832 U1 17-09-2009	
		EP 2007545 A1 31-12-2008	
		ES 2328298 T3 11-11-2009	
		JP 2009534529 A 24-09-2009	
		KR 20090005004 A 12-01-2009	
		MA 30458 B1 01-06-2009	
		PT 2007545 E 07-09-2009	
		RU 2008141272 A 27-04-2010	
		SI 2007545 T1 31-12-2009	
		US 2009220815 A1 03-09-2009	
		US 2012074106 A1 29-03-2012	
		WO 2007118939 A1 25-10-2007	
		WO 2007125182 A1 08-11-2007	
		ZA 200807974 A 24-02-2010	
EP 1878531	A1	16-01-2008	AT 477878 T 15-09-2010
		BR PI0703305 A 26-02-2008	
		CA 2593208 A1 12-01-2008	
		CN 101104225 A 16-01-2008	
		CN 102151952 A 17-08-2011	
		EP 1878531 A1 16-01-2008	
		EP 2168710 A1 31-03-2010	
		ES 2350654 T3 25-01-2011	
		FR 2903623 A1 18-01-2008	
		JP 2008018470 A 31-01-2008	
		JP 2011125931 A 30-06-2011	
		US 2008011720 A1 17-01-2008	
		US 2011226746 A1 22-09-2011	
US 6290905	B1	18-09-2001	DE 69724569 D1 09-10-2003
			DE 69724569 T2 08-07-2004
			EP 0850719 A1 01-07-1998
			US 6059177 A 09-05-2000
			US 6290905 B1 18-09-2001