

## (12) BREVET D'INVENTION

- (11) N° de publication : **MA 39245 B2** (51) Cl. internationale : **C21D 8/02; C22C 38/38; C22C 38/26; C22C 38/12**
- (43) Date de publication : **30.04.2021**

- 
- (21) N° Dépôt : **39245**
- (22) Date de Dépôt : **05.02.2015**
- (30) Données de Priorité : **05.02.2014 US 61/935,948**
- (86) Données relatives à la demande internationale selon le PCT: **PCT/US2015/014694 05.02.2015**
- (71) Demandeur(s) : **ARCELORMITTAL S.A., 24-26, Boulevard d'Avranches L-1160 Luxembourg (LU)**
- (72) Inventeur(s) : **HASSANI FARID ; HYUN JUN ; Nina FONSTEIN**
- (74) Mandataire : **CHARDY PATENTMARK**

- 
- (54) Titre : **TOLE D'ACIER THERMOFORMABLE, DURCISSABLE A L'AIR ET POUVANT ETRE SOUDEE**
- (57) Abrégé : L'invention concerne une tôle d'acier comprenant, en % en poids, 0,04 = C = 0,30; 0,5 = Mn = 4, 0 = Cr = 4; 2,7 = Mn + Cr = 5; 0,003 = Nb = 0,1; 0,015 = a1 = 0,1; et 0,05 = Si = 1,0; la composition chimique de la tôle thermoformée rend celle-ci insensible à la vitesse de refroidissement après l'austénisation, et permet d'assurer une distribution uniforme de la résistance à la traction, dans la plage de 800 à 1400 MPa, sur toute l'étendue des pièces, indépendamment du décalage entre les opérations de refroidissement/trempe finale. Par conséquent, une partie formée peut être refroidie à l'air ou pendant qu'elle se trouve dans une matrice. L'ajout de Nb permet de réduire la quantité de C nécessaire pour obtenir une résistance à la traction donnée, et d'améliorer la soudabilité.

ABRÉGÉ DE LA DIVULGATION

- Une tôle d'acier comprenant, en % en poids,  $0,04 \leq C \leq 0,30$  ;  $0,5 \leq Mn \leq 4$  ;  $0 \leq Cr \leq 4$  ;  $2,7 \leq Mn+Cr \leq 5$  ;  $0,003 \leq Nb \leq 0,1$  ;  $0,015 \leq Al \leq 0,1$  et  $0,05 \leq Si \leq 1,0$ , a une
- 5 composition chimique qui rend la tôle formée à chaud, après austénitisation, insensible à la vitesse de refroidissement et assure une distribution uniforme de la résistance à la traction dans la gamme de 800 à 1400 MPa d'un bout à l'autre des pièces indépendamment du retard de temps entre les opérations et le refroidissement final/la trempe finale. En conséquence, une pièce formée peut être refroidie à l'intérieur d'une matrice ou dans l'air.
- 10 L'addition de Nb réduit la quantité de C nécessaire pour parvenir une résistance à la traction donnée et améliore la soudabilité.



**TÔLE D'ACIER, SOUDABLE, DURCISSABLE À L'AIR**  
**ET FORMABLE À CHAUD**

**RENOI À DES DEMANDES CONNEXES**

5

Cette demande revendique l'avantage conformément à 35 U.S.C. 119(e) de la demande provisoire américaine n°61/935,948 déposée le 5 Février 2014.

**DOMAINE DE L'INVENTION**

10

La présente invention concerne des tôles d'acier. En particulier, la présente invention concerne une tôle d'acier qui peut être formée à chaud sous forme de pièces ayant une résistance à la traction très élevée et uniforme et une haute soudabilité.

**CONTEXTE DE L'INVENTION**

15

Les véhicules modernes contiennent une part de plus en plus importante de tôle d'aciers à haute résistance et à ultra-haute résistance pour améliorer la sécurité des passagers et réduire le poids du véhicule. La configuration de nombreuses pièces formées de la carrosserie du véhicule empêche l'utilisation de tôles d'acier avancées à haute résistance formées à froid. En conséquence, le formage à chaud suivi d'une trempe à un état martensitique est devenu un moyen très en vogue pour la fabrication des pièces en acier à ultra-haute résistance.

20

Des aciers spéciaux sont utilisés pour l'emboutissage à chaud afin d'assurer la trempabilité nécessaire pour adapter les paramètres de fonctionnement. Beaucoup de ces aciers spéciaux sont conçus pour une trempe dans des matrices refroidies à l'eau.

25

Un exemple d'un tel acier à emboutissage à chaud est l'USIBOR qui contient (en % en poids) de 0,15 à 0,25% de C, de 0,8 à 1,5% de Mn, de 0,1 à 0,35% de Si, de 0,01 à 0,2% de Cr, moins de 0,1% de Ti, moins de 0,1% d'Al, moins de 0,05% de P, moins de 0,03% de S et de 0,0005 à 0,01% de B. Cette composition chimique concerne l'acier divulgué dans le brevet américain n°6,296,805. Dans cette composition chimique, Ti et B sont nécessaires pour parvenir à des propriétés mécaniques élevées après pressage à chaud dans une matrice refroidie à l'eau.

30

La fabrication de pièces à haute résistance à partir d'USIBOR est décrite dans le brevet américain n°6,564,604. Le procédé comprend le chauffage de flans laminés à chaud ou laminés à froid à plus de 700°C dans un four, le transfert des flans chauffés vers des matrices, le formage par pressage des flans dans la matrice et le maintien de la matrice  
5 refroidie à l'eau, avec le flan formé à l'intérieur, à l'état fermé jusqu'à ce que la pièce atteigne la température ambiante. Un refroidissement rapide dans la matrice refroidie à l'eau, c'est à dire la trempe, est nécessaire pour obtenir la structure martensitique et donc une résistance élevée. L'acier trempé pourrait avoir être pourvu d'un revêtement de Zn ou d'Al-Si avant le traitement à chaud pour l'emboutissage à chaud au moyen d'un procédé de  
10 revêtement par immersion à chaud en continu pour protéger le substrat en acier de l'oxydation lors du emboutissage à chaud et de l'attaque subséquente par la corrosion.

Bien que l'USIBOR soit largement utilisé pour l'emboutissage à chaud et puisse atteindre une résistance à la traction de 1500 MPa après la trempe dans une matrice refroidie à l'eau, l'USIBOR présente un certain nombre d'inconvénients. Un inconvénient  
15 est que l'USIBOR, contenant 0,25% en poids de C, présente une soudabilité médiocre. En outre, la microstructure d'USIBOR est très sensible à la vitesse de refroidissement et présente des formations de ferrite ou de bainite si les vitesses de refroidissement dans la matrice refroidie à l'eau sont lentes, la distribution uniforme de la résistance d'un bout à l'autre des pièces matricées à chaud ne peut donc pas être garantie. En outre, le procédé  
20 d'emboutissage à chaud utilisant l'USIBOR est généralement long et la productivité de l'équipement onéreux utilisé pour l'emboutissage à chaud est relativement faible. Par ailleurs, la ductilité (par exemple, l'allongement) d'USIBOR ayant une résistance à la traction supérieure à 1500 MPa est relativement faible.

Les aciers durcissant à l'air sont également bien connus. Par exemple, le document  
25 WO2006/048009 divulgue un acier durcissable à l'air qui contient, en % en masse, de 0,07 à 0,15% de C, de 0,15 à 0,30% de Si, de 1,60 à 2,10% de Mn, de 0,5 à 1,0% de Cr, de 0,30 à 0,60% de Mo, de 0,12 à 0,20% de V, de 0,010 à 0,050% de Ti et de 0,0015 à 0,0040% de B. L'acier peut être facilement soudé et galvanisé. Il présente une résistance élevée, par exemple une limite d'élasticité de 750 à 850 MPa et une résistance à la traction de 850 à  
30 1000 MPa. Toutefois, l'acier présente l'inconvénient d'utiliser de grandes quantités d'éléments onéreux tels que le Mo et le V.

La publication de demande de brevet DE 102 61 210 A1 décrit un autre alliage d'acier durcissable à l'air destiné à la production de pièces d'automobile dans un procédé de pressage à chaud. L'alliage contient, en % en masse, de 0,09 à 0,13% de C, de 0,15 à 0,3% de Si, de 1,1 à 1,6% de Mn, de 0,015% de P maximum, de 0,011% de S maximum, 5 de 1,0 à 1,6% de Cr, de 0,3 à 0,6% de Mo, de 0,02 à 0,05% d'Al et de 0,12 à 0,25% de V. Lorsque l'acier est trempé dans une matrice, on peut obtenir une structure bainitique supérieure sans trempe supplémentaire. L'acier présente une limite d'élasticité de 750 à 1100 MPa, une résistance à la traction de 950 à 1300 MPa et un allongement de 7 à 16%. Un inconvénient de cet acier est la nécessité d'utiliser une grande quantité de Mo et de V 10 onéreux.

La demande de brevet japonais publiée avant examen n°2006-213959 propose un procédé de fabrication d'éléments en acier à résistance élevée pressés à chaud présentant une excellente productivité. Le procédé utilise une tôle d'acier qui contient, en % en masse, de 0,05 à 0,35% de C, de 0,005 à 1,0% de Si, de 0 à 4,0 de Mn, de 0 à 3,0% de Cr, de 0 à 15 4,0% de Cu, de 0 à 3,0% de Ni, de 0,0002 à 0,1% de B, de 0,001 à 3,0% de Ti,  $\leq 0,1\%$  de P,  $\leq 0,05\%$  de S, de 0,005 à 0,1% d'Al et  $\leq 0,01\%$  de N, le reste étant du Fe et des impuretés inévitables, où  $Mn+Cr/3,1+(Cu+Ni)/1,4 \geq 2,5\%$ . La tôle d'acier est chauffée à une température de 750 à 1300°C pendant 10 à 6000 secondes, et puis est formée par pressage à une température de 300°C ou plus. Après le pressage, le produit moulé est retiré 20 du moule et est refroidi d'une température de 1200 à 1100°C à une température de 5 à 40°C à une vitesse de refroidissement de 0,1°C/seconde ou plus pour obtenir des éléments présentant une structure martensitique de 60% ou plus dans un rapport de section. Ce procédé permet d'éliminer l'étape de trempe dans le moule de pressage. Les éléments obtenus présentent peu de variation de la qualité des matériaux à l'intérieur, et la forme des 25 éléments est bonne avec une excellente uniformité.

La demande de brevet japonais publiée avant examen n°2006-212663 propose un procédé de fabrication d'éléments en acier à haute résistance pressés à chaud qui présentent une excellente formabilité. Le procédé utilise une tôle d'acier qui contient, en % en masse, de 0,05 à 0,35% de C, de 0,005 à 1,0% de Si, de 0 à 4,0% de Mn, de 0 à 3,0% de Cr, de 0 à 30 4,0% de Cu, de 0 à 3,0% de Ni, de 0,0002 à 0,1% de B, de 0,001 à 3,0% de Ti,  $\leq 0,1\%$  de P,  $\leq 0,05\%$  de S, de 0,005 à 0,1% d'Al et  $\leq 0,01\%$  de N, le reste étant du Fe et des impuretés inévitables, où  $Mn+Cr/3,1+(Cu+Ni)/1,4 \geq 2,5$ . La tôle d'acier est chauffée à une

température de 750 à 1300°C, est maintenue à cette température pendant 10 à 6000 secondes, puis est formée par pressage deux ou plusieurs fois à une température de 300°C pour donner des éléments présentant une structure martensitique de 60% ou plus dans un rapport de section. Les éléments résultants présentent une résistance élevée et une faible  
5 variabilité de la qualité des matériaux à l'intérieur.

La résistance à la traction de l'acier est connue pour augmenter avec la teneur en C. Cependant, une augmentation de la teneur en C réduit la soudabilité.

Il existe un besoin pour une tôle d'acier à haute résistance durcissable à l'air et formable à chaud qui ne contient pas de grandes quantités d'éléments onéreux, tels que le  
10 Mo, et qui présente une excellente soudabilité tout en présentant peu de variabilité interne de résistance à la traction.

#### RÉSUMÉ DE L'INVENTION

La présente invention propose une tôle d'acier à haute résistance à la traction (800 à  
15 1400 MPa) qui contient (en % en poids)  $0,04 \leq C \leq 0,30$  ;  $0,5 \leq Mn \leq 4$  ;  $0 \leq Cr \leq 4$ ,  
 $2,7 \leq Mn+Cr \leq 5$  ;  $0,003 \leq Nb \leq 0,1$  ;  $0,015 \leq Al \leq 0,1$  et  $0,05 \leq Si \leq 1,0$ . Éventuellement,  
la tôle d'acier peut contenir un ou plusieurs parmi  $Ti \leq 0,2$  ;  $V \leq 0,2$  ;  $Mo < 0,3$  et  
 $B \leq 0,015$ . À la suite de l'austénitisation à ou au-dessus de  $Ac_3+20^\circ C$ , la tôle d'acier peut  
20 être formée à chaud dans une matrice et peut être refroidie dans la matrice, ou dans un  
milieu de refroidissement tel que l'air, l'azote, l'huile ou l'eau. La composition chimique  
de l'acier, en particulier la teneur en Mn+Cr est comprise entre 2,7 et 5% en poids, ce qui  
rend la tôle formée insensible à la vitesse de refroidissement et assure une distribution  
uniforme de la résistance d'un bout à l'autre des pièces indépendamment du retard entre les  
opérations et le refroidissement final/la trempe finale. Une teneur en Nb de 0,003 à 0,1%  
25 en poids rend la résistance à la traction moins sensible à la quantité de C et réduit la  
quantité de carbone nécessaire pour la même résistance à la traction. En outre, étant donné  
qu'une diminution de C améliore la soudabilité, l'addition de Nb permet d'obtenir la même  
résistance à la traction élevée qu'avec du C seul, mais avec une meilleure soudabilité. Le  
revêtement de la tôle d'acier avec une couche de Zn, d'Al ou d'un alliage d'Al permet  
30 d'améliorer la résistance à la corrosion de la tôle d'acier.

#### DESCRIPTION BRÈVE DES DESSINS

Les modes de réalisation préférés de l'invention seront décrits en détail par référence aux figures suivantes, dans lesquelles :

la figure 1 représente la variation de résistance à la traction (MPa) en fonction de C pour diverses compositions de tôle d'acier lorsque la quantité de C est dans la gamme de 0,06 à 0,12% en poids, avec et sans addition de Nb ;

la figure 2 représente la variation de la résistance à la traction (MPa) en fonction de C pour diverses compositions de tôle d'acier lorsque la quantité de C est dans la gamme de 0,06 à 0,18% en poids, avec et sans Nb ;

la figure 3 représente un diagramme de transformation de refroidissement en continu (CCT) d'un acier selon la présente invention, les courbes de refroidissement représentant graphiquement la température en degrés C en fonction du logarithme du temps en secondes ;

les figures 4a à 4d sont des photomicrographies, prises à différents grossissements, d'un acier de la présente invention refroidi à différentes vitesses de refroidissement ;

la figure 5 est une représentation graphique d'un courant de soudage par rapport au nombre d'échantillons des aciers de la présente invention, le graphique montrant spécifiquement l'absence de dispersion de l'expulsion de l'acier dans le soudage par points ;

la figure 6 est une collection de quatre (4) photomicrographies montrant, de haut en bas et de gauche à droite, une soudure par points complète d'un acier de la présente invention, un grossissement plus important du métal de base, la zone touchée par la chaleur, et la zone soudée de la soudure par points.

#### DESCRIPTION DÉTAILLÉE DE MODES DE RÉALISATION PRÉFÉRÉS

La présente invention concerne une tôle d'acier qui peut être formé à chaud sous la forme d'une pièce qui présente une distribution uniforme de la résistance et une soudabilité améliorée. La tôle d'acier est une composition d'acier faiblement allié et contient, en % en poids,  $0,04 \leq C \leq 0,30$  ;  $0,5 \leq Mn \leq 4$  ;  $0 \leq Cr \leq 4$  ;  $2,7 \leq Mn+Cr \leq 5$  ;  $0,003 \leq Nb \leq 0,10$  ;  $0,015 \leq Al \leq 0,1$  et  $0,05 \leq Si \leq 1,0$ . Éventuellement, la tôle d'acier peut contenir un ou plusieurs parmi  $Ti \leq 0,2$  ;  $V \leq 0,5$  ;  $Mo < 0,6$  et  $B \leq 0,015$ . Cette composition chimique permet de produire une tôle qui, après formage à chaud, est insensible à la vitesse de refroidissement et assure une distribution uniforme de la résistance d'un bout à l'autre des

pièces indépendamment du retard entre les opérations et du refroidissement final/la trempe finale. L'uniformité garantie des propriétés de traction indépendamment de la vitesse de refroidissement dans des endroits spécifiques d'une partie formée peut augmenter considérablement la productivité de formage à chaud. Bien que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation de C, l'augmentation de C diminue la soudabilité. Toutefois, en remplaçant une partie de C par du Nb, l'augmentation de la résistance à la traction peut être maintenue et la soudabilité améliorée.

Les concentrations des différents éléments constitutifs des tôles d'acier de la présente invention sont limitées pour les raisons suivantes. Les concentrations sont données en % en poids.

Le carbone est essentiel pour augmenter la résistance de l'acier. Cependant, si on ajoute une trop grande quantité de C, le soudage devient difficile. Ainsi, la quantité de C est limitée à la gamme allant de 0,04 à 0,30% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité de C est de 0,06% en poids, de préférence 0,08% en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité de C est de 0,18% en poids, de préférence 0,16% en poids.

Outre le fait d'être un élément de renforcement se présentant sous la forme d'une solution solide, le manganèse inhibe également la transformation en ferrite, c'est donc un élément chimique important pour assurer la trempabilité. Cependant, l'addition d'une trop grande quantité de Mn non seulement favorisera la co-ségrégation avec le P et le S, mais nuira également la fabricabilité lors de la production, la coulée et le laminage à chaud de l'acier. Ainsi, la quantité de Mn est limitée à la gamme allant de 0,5 à 4% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité de Mn est de 1% en poids, plus préférablement 1,5% en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité de Mn est de 3,5% en poids, plus préférablement de 3,0% en poids.

Le chrome est important pour améliorer la trempabilité. Cependant, une trop grande quantité de Cr nuira à fabricabilité pendant la production. Ainsi, la quantité de Cr est limitée à la gamme allant de 0 à 4% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité de Cr est de 0,2%, plus préférablement 0,5%, en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité de Cr est de 3,5% en poids, plus préférablement de 3,0% en poids.

La quantité combinée de Mn et de Cr est limitée à la gamme allant de 2,7 à 5% en poids pour rendre l'acier insensible à la vitesse de refroidissement après formage et pour assurer une distribution uniforme de la résistance d'un bout à l'autre des pièces



indépendamment du retard entre les opérations et le refroidissement final/la trempe finale. De préférence, la limite inférieure de Mn+Cr est de 3,0% , plus préférablement de 3,3%, en poids. De préférence, la limite supérieure de Mn+Cr est de 4,7% en poids, de préférence 4,4% en poids.

5           Auparavant, de petites additions de Nb à des aciers HSLA étaient connues pour leur effet significatif sur la prévention de la recristallisation austénitique et donc sur la taille des grains de ferrite fins, ainsi que le durcissement par précipitation de ferrite par des carbonitrides fins. En outre, de plus grandes quantités de Nb ont été ajoutées à des aciers alliés ayant une résistance élevée au fluage de C. Cependant, jusqu'à présent, l'effet de  
10 petites additions de Nb à des aciers au carbone faible à intermédiaire présentant une microstructure martensitique n'a pas été relaté dans la littérature ouverte. Les inventeurs ont découvert qu'une petite addition de Nb à des aciers durcissables à l'air de la présente invention réduit la sensibilité de la résistance à la traction à l'égard de la teneur en C et augmente considérablement la résistance de l'acier, ce qui réduit la quantité de C  
15 nécessaire pour parvenir à une résistance à la traction spécifique. Étant donné que la réduction du carbone permet d'améliorer la soudabilité, l'addition de Nb permet de parvenir à la résistance à la traction élevée souhaitée avec une meilleure soudabilité. Pour obtenir ces effets, la quantité de Nb est limitée à la gamme allant de 0,003 à 0,1% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité de Nb est de 0,005%, plus préférablement  
20 0,010%, en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité de Nb est de 0,09% en poids, plus préférablement de 0,085% en poids.

De l'Al en petite quantité est ajouté à l'acier comme désoxydant. Cependant, une trop grande quantité d'Al entraîne de nombreuses inclusions non métalliques et des imperfections de surface. L'Al est également un élément à forte formation de ferrite et  
25 augmente significativement la température d'austénitisation complète. Ce sont des effets indésirables pour des aciers durcissables à l'air. Ainsi, la quantité d'Al est limitée à la gamme allant de 0,015 à 0,1% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité d'Al est de 0,02%, plus préférablement de 0,03%, en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité d'Al est de 0,09% en poids, plus préférablement de 0,08% en  
30 poids.

Le Si est efficace pour augmenter la résistance de la tôle d'acier. Cependant, une trop grande quantité de Si pose un problème d'échelle de surface. Ainsi, la quantité de Si

est limitée à la gamme allant de 0,05 à 0,35% en poids. De préférence, la limite inférieure de la quantité de Si est de 0,07%, plus préférablement de 0,1%, en poids. De préférence, la limite supérieure de la quantité de Si est de 0,3% en poids, de préférence 0,25% en poids.

Le Ti peut éventuellement être ajouté à l'acier avec du B dans une quantité  $\leq 0,1\%$  en poids pour améliorer la trempabilité. Le Ti se combine avec le N à très haute température, ce qui empêche ainsi la formation de BN. Le B en solution améliore la trempabilité. Du Ti au-delà du rapport stœchiométrique avec l'azote est un élément qui forme des carbures. Il renforce l'acier en formant des carbures très fins. Son effet est similaire à du Nb.

Le V peut être éventuellement ajouté à l'acier dans une quantité  $\leq 0,2\%$  en poids pour augmenter la résistance de l'acier par précipitation fines. Il augmente également la trempabilité de l'acier.

Le Mo peut éventuellement être ajouté à l'acier dans une quantité  $\leq 0,3\%$  en poids pour augmenter la résistance et améliorer la trempabilité.

Le B peut éventuellement être ajouté à l'acier dans une quantité  $\leq 0,005\%$  en poids pour augmenter la trempabilité et donc la résistance de l'acier.

L'acier contient également du Fe et peut contenir des impuretés inévitables.

La tôle d'acier de la présente invention présente une microstructure martensitique pouvant contenir jusqu'à 10% phase bainitique inférieure. La microstructure est essentiellement martensitique. La quantité de bainite peut aller jusqu'à 10%, de préférence elle est inférieure à 5 % et plus préférablement inférieure à 1%.

La tôle d'acier de la présente invention présente une résistance à la traction dans la gamme de 800 à 1400 MPa. La limite inférieure de la résistance à la traction est de préférence de 900 MPa, plus préférablement de 1000 MPa. La résistance finale dépend principalement de la teneur en carbone dans la martensite.

La tôle d'acier de la présente invention peut présenter un allongement dans la gamme allant de 4 à 9%, de préférence de 5 à 9%, plus préférablement de 6 à 9%.

La tôle d'acier de la présente invention peut être réalisée par des procédés qui commencent par une production et une coulée classiques de l'acier, suivies par un laminage à chaud. Les brames coulées peuvent être chargées directement dans un four de réchauffage avant le laminage à chaud ou refroidies préalablement. Il n'y a aucune

restriction quant à la température de finition dans le processus de laminage à chaud autre que celle d'être supérieure à  $A_{r3}$ .

La température de bobinage après laminage à chaud dépend du traitement après le laminage à chaud. Si un laminage à froid est nécessaire pour obtenir l'épaisseur finale, 5 alors on préfère une température de bobinage comprise entre  $700^{\circ}\text{C}$  et  $600^{\circ}\text{C}$ . Si l'épaisseur finale requise peut être obtenue directement par laminage à chaud, on recommande alors une température de bobinage comprise entre  $600^{\circ}\text{C}$  et  $500^{\circ}\text{C}$ .

La tôle laminée à chaud peut être décapée. Pour des produits laminés à froid, la tôle laminée à chaud peut être décapée avant laminage à froid jusqu'à l'épaisseur requise.

10 La tôle d'acier laminée à chaud ou laminée à froid peut être protégée contre l'oxydation et/ou la corrosion par revêtement d'un côté ou des deux côtés de la tôle d'acier avec du Zn, de l'Al ou un alliage d'Al, tel que Al-Si. On peut effectuer le revêtement en revêtant par immersion à chaud en continu la tôle d'acier.

Les tôles d'acier avec ou sans revêtement sont chauffées à la température 15 d'austénitisation complète, à savoir au moins  $A_{c3}+5^{\circ}\text{C}$ , avant d'être mises à la forme souhaitée, par exemple par emboutissage dans une ou plusieurs matrices. La pièce formée à chaud est ensuite refroidie dans une matrice ou dans un milieu de refroidissement tel que l'air, l'azote, l'huile ou l'eau. Des milieux de refroidissement différents donnent des vitesses de refroidissement différentes. Les pièces formées présentent une structure 20 martensitique uniforme d'un bout à l'autre des pièces indépendamment de la vitesse de refroidissement.

La résistance finale peut être commandée par la composition chimique (en particulier, les quantités de C et de Nb) et/ou par chauffage au-dessous ou au-dessus de la 25 température d'austénitisation complète.

#### EXEMPLES

Des brames de 50 mm, ayant les compositions chimiques présentées dans le tableau 1, ont été produites en laboratoire. Les brames ont été laminées à chaud pour donner des tôles de 3,5 mm. La température de réchauffage était de  $1220^{\circ}\text{C}$ , la température de finition était de 30  $850^{\circ}\text{C}$  et la température de bobinage était de  $700^{\circ}\text{C}$ . Les tôles laminées à chaud ont été meulées en surface des deux côtés pour obtenir une épaisseur de 2,5 mm afin d'enlever une couche superficielle décarburée éventuellement produite pendant le processus de

réchauffage en laboratoire. Les tôles de 2,5 mm ont été laminées à froid jusqu'à 1 mm (réduction à froid de 60%) dans un laminoir à froid réversible de laboratoire. Des échantillons de tôles laminées à froid ont été soumis à une austénitisation à 900°C pendant 300 secondes dans un bain de sel et puis trempés dans de l'huile. Certains échantillons ont été instrumentés avec un thermocouple pour mesurer la vitesse de refroidissement lors de la trempe avec de l'huile. La vitesse de refroidissement moyenne de 800°C à 300°C était de 150°C/s. Les propriétés mécaniques des échantillons trempés ont été mesurées dans une direction transversale à la direction de laminage. Un résumé des propriétés mécaniques est donné dans le tableau 2.

Les données sur la résistance à la traction du tableau 2 ont été représentées graphiquement en fonction du carbone dans la composition chimique, figure 1. La résistance à la traction dépend fortement du carbone, comme cela a été noté dans de nombreuses publications antérieures (voir par exemple « Martensite transformation, structure and properties in hardenable steels », G. Krauss, Hardenability concepts with applications to steel, D.V. Doane & J.S. Kirkaldy., Octobre 24-26, 1977, page 235). Cependant, la figure 1 montre également que les aciers contenant du Nb ont une résistance supérieure à celle de l'acier avec une teneur en carbone similaire sans Nb. En outre, la résistance de l'acier auquel du Nb a été ajouté est moins dépendante du carbone car la pente de la courbe rapportée à la résistance à la traction des aciers avec Nb est très inférieure à celle des aciers sans Nb. La différence de résistance entre les aciers avec ou sans Nb diminue à mesure que le C augmente et les deux groupes d'aciers ont une résistance similaire à 0,17% de C et plus, figure 2.

Pour déterminer l'effet de la vitesse de refroidissement sur la résistance finale du matériau trempé, on a évalué « la vitesse de refroidissement critique », c'est-à-dire « la vitesse de refroidissement minimale de la température d'austénitisation pour éviter la formation de ferrite ». Dans ces expériences, le diagramme de Transformation en Refroidissement Continu (TRC) de l'acier a été réalisé à l'aide d'un dilatomètre MMC. Dans ces tests, un petit échantillon a été chauffé à 900°C, puis refroidi à des vitesses de refroidissement prédéterminées pendant que la dilatation de l'échantillon (changement de longueur) a été mesurée. Différentes transformations de phase au cours du refroidissement ont été identifiées à partir des données de dilatation, ainsi que par l'évaluation de la

microstructure et de la dureté finale de l'échantillon refroidi. Plusieurs vitesses de refroidissement sont nécessaires pour construire le diagramme TRC.

Un exemple d'un tel diagramme est représenté sur la figure 3. Comme il ressort de cette figure, la transformation en ferrite ne se produit pas à des vitesses de refroidissement supérieures à 1°C/s. Des microstructures à 3°C/s et des vitesses de refroidissement plus élevés indiquées dans **Erreur ! Source de référence introuvable-A & C** montrent une microstructure martensitique. Cependant, il y a un degré élevé de trempe à des vitesses de refroidissement inférieures, **Erreur ! Source de référence introuvable-B & D**. En dépit de la trempe de la martensite, on a obtenu une dureté élevée de 350HV à une vitesse de refroidissement de 3°C/s, laquelle dureté augmente à mesure que la vitesse de refroidissement augmente. Un refroidissement d'un acier de la présente invention dans n'importe quel milieu (air, huile, matrice, azote) qui se traduit par des vitesses de refroidissement supérieures à 1°C/s, de préférence supérieures à 3°C/s produira un acier totalement martensitique à résistance élevée.

La soudabilité par points des aciers 55, 63, 81 et 141 a été évaluée conformément à la spécification ISO18278-2 dans une configuration de joint homogène. Ces tests ont montré des résultats non dispersés sous expulsion, la figure 4, avec une microstructure uniforme du noyau de soudure, figure 5.

Le tableau 1 et le tableau 2, la figure 1 et la figure 2 montrent que la même résistance à la traction élevée peut être obtenue lorsque, pour une teneur en C allant de 0,04 à 0,20% en poids, une partie du C est remplacée par du Nb dans des quantités allant de 0,003 à 0,055% en poids.

La présente divulgation d'une gamme numérique est destinée à être la divulgation des extrémités de cette gamme numérique et de tout nombre rationnel dans cette gamme numérique.

Bien que la présente invention ait été décrite par rapport à des modes de réalisation particuliers, elle ne se limite pas aux détails spécifiques énoncés, mais inclut divers changements et modifications qui peuvent eux-mêmes être suggérés l'homme du métier, dans le cadre de l'invention tel que défini par les revendications suivantes.

Tableau1

Acier	C	Mn	Cr	Nb	Ti	V	B	Al	Mo	Mn + Cr
6	0,0386	1,96	1,02					0,032		2,98
7	0,076	1,98	1,02					0,035		3,01
8	0,1084	1,94	1,02					0,031		2,96
10	0,0341	2,89	0,97					0,031		3,85
11	0,0736	2,88	1,03					0,025		3,91
12	0,1117	2,91	0,99					0,032		3,91
14	0,0366	1,91	2,01					0,027		3,92
15	0,0731	1,94	1,99					0,032		3,93
16	0,1058	1,94	2,00					0,026		3,94
19	0,0366	0,98	2,94					0,029		3,93
20	0,0712	0,99	2,97					0,027		3,96
21	0,1048	0,99	3,01					0,031		4,00
22	0,0342	2,85	1,99					0,03		4,84
52	0,0765	2,00	1,04	0,029	0,02			0,046		3,04
53	0,106	1,98	1,04	0,029	0,019			0,052		3,01
55	0,105	1,99	1,98	0,03	0,019			0,034		3,97
56	0,1102	1,95	2,01	0,049				0,042		3,96
57	0,1106	1,98	2,02		0,051			0,034		4,00
58	0,1121	1,97	2,02			0,094		0,034		3,99
59	0,0737	1,99	1,07		0,029		0,0032	0,043		3,05
61	0,0768	1,96	1,01					0,023	0,187	2,97
62	0,0759	2,98		0,029	0,019			0,042		2,98
63	0,0769	4,08		0,03	0,019			0,046		4,08
64	0,114	1,99	2,07	0,049				0,038		4,06
65	0,0812	3,03	1,03	0,031	0,017			0,026		4,06
81	0,0768		4,06	0,03	0,023			0,018		4,06
141	0,125	2,05	0,52	0,053				0,029		2,57
142	0,154	2,09	1,02	0,057				0,03		3,10
143	0,157	2,07	0,52	0,052				0,026		2,58

Tableau2

Acier	LE (MPa)	RT (MPa)	AL (%)
6	521	669	7
7	592	802	7
8	809	1094	6
10	695	892	7
11	832	1097	6
12	787	1063	6
14	606	780	7
15	752	1002	5
16	862	1172	7
19	516	687	8
20	683	926	7
21	834	1121	5
22	720	940	6
52	914	1221	6
53	959	1293	7
55	982	1317	6
56	965	1277	7
57	841	1149	6
58	628	904	9
59	839	1083	7
61	717	918	4
62	744	980	6
63	984	1284	6
64	988	1328	6
65	954	1239	6
81	909	1155	7
141	1025	1340	7
142	1004	1392	7
143	1042	1384	7

yef

6. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,2 \leq Cr \leq 3,5$ .
7. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,5 \leq Cr \leq 3,0$ .
8. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $3,0 \leq Mn + Cr \leq 4,7$ .
9. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $3,3 \leq Mn + Cr \leq 4,4$ .
10. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,005 \leq Nb \leq 0,060$ .
11. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,010 \leq Nb \leq 0,055$ .
12. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle au moins une surface de la tôle d'acier est revêtue d'une couche comprenant du Zn, de l'Al ou d'un alliage d'Al.
13. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle la tôle d'acier a une microstructure comprenant moins de 5% en surface de bainite.



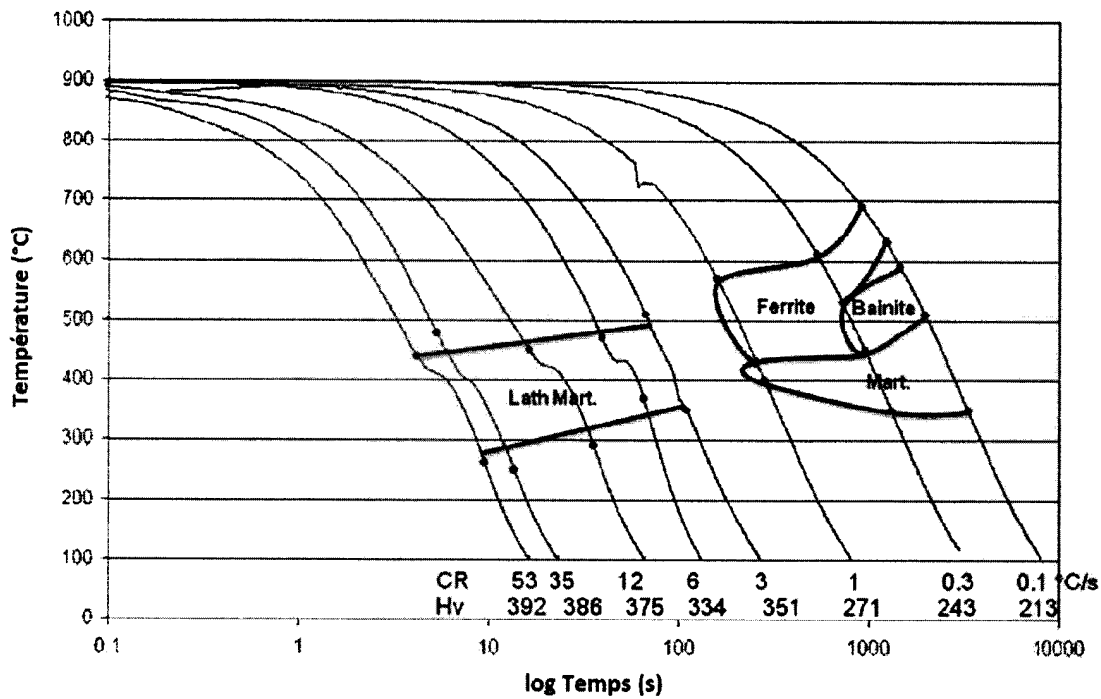


Figure 3

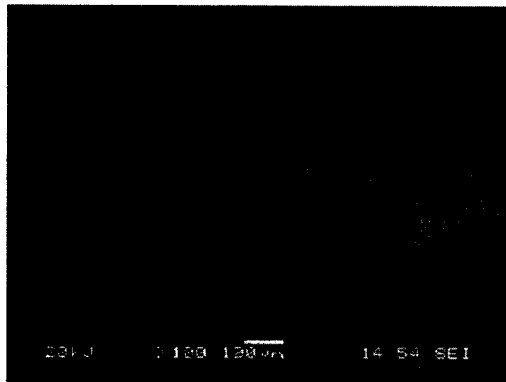


Figure 4A

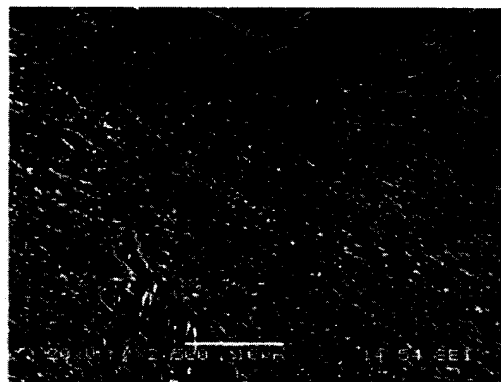


Figure 4B

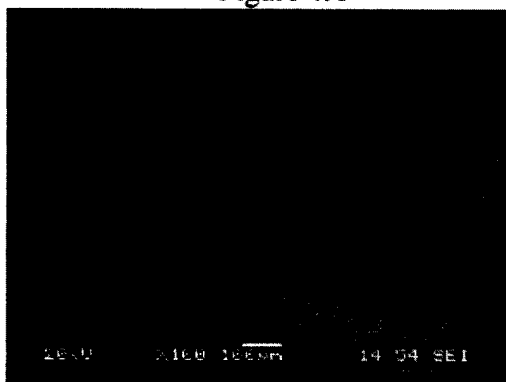


Figure 4C

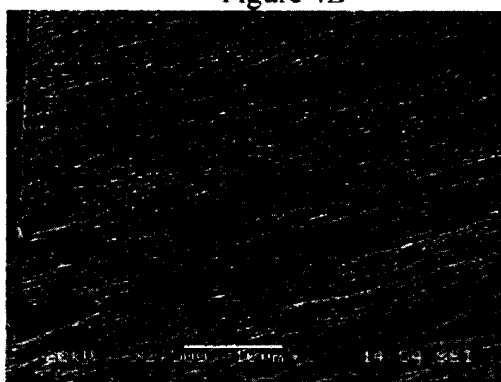


Figure 4D

*Handwritten signature*

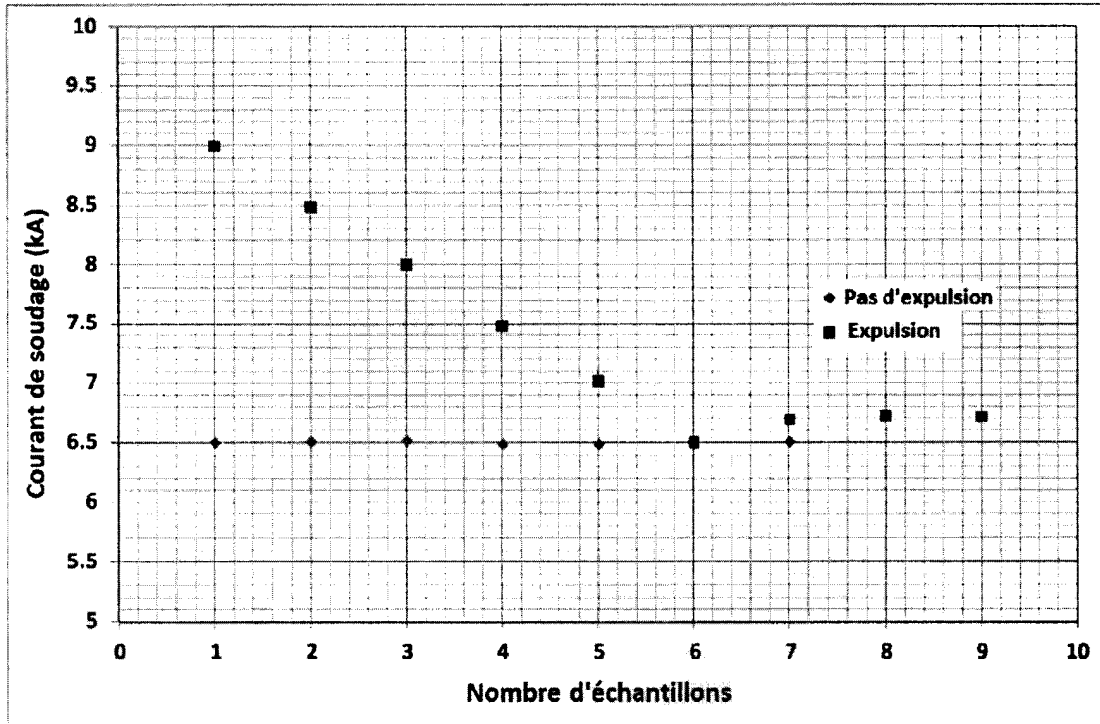
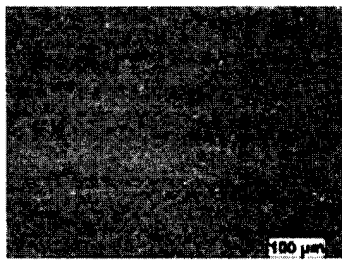
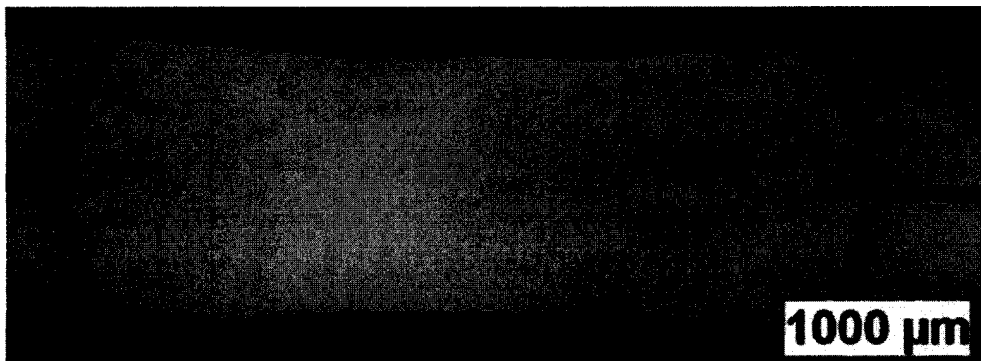
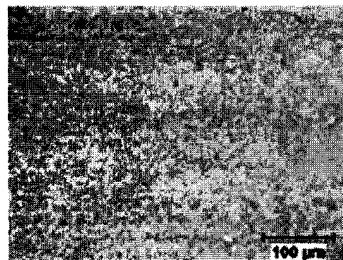


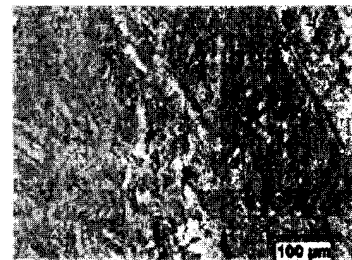
Figure 4



Matériau de base



HAZ



Zone de soudage

Figure 5

*Handwritten signature*

Revendications modifiées proposées:

1. Une tôle d'acier comprenant, en% en poids,

$$0.04 \leq C \leq 0.30,$$

$$0.5 \leq Mn \leq 4,$$

$$0 \leq Cr \leq 4,$$

$$2.7 \leq Mn+Cr \leq 5,$$

$$0.003 \leq Nb \leq 0.1,$$

$$0.015 \leq Al \leq 0.1,$$

$$0.05 \leq Si \leq 1.0,$$

éventuellement

$$Ti \leq 0.2,$$

$$V \leq 0.2,$$

$$Mo \leq 0.3$$

$$B \leq 0.015$$

le reste étant du Fe et des impuretés inévitables, le reste étant du Fe et des impuretés inévitables, dans lesquels la tôle d'acier a une résistance à la traction dans la plage de 800-1400 MPa et un allongement compris entre 4 et 9%, et dans lequel la tôle d'acier a une microstructure comprenant 95 à 100% en surface de martensite.

2. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,06 \leq C \leq 0,18$

3. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,06 \leq C \leq 0,18$ .

4. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,2 \leq Mn \leq 3,5$

5. Tôle d'acier selon la revendication 1, dans laquelle  $0,5 \leq Mn \leq 3,0$ .

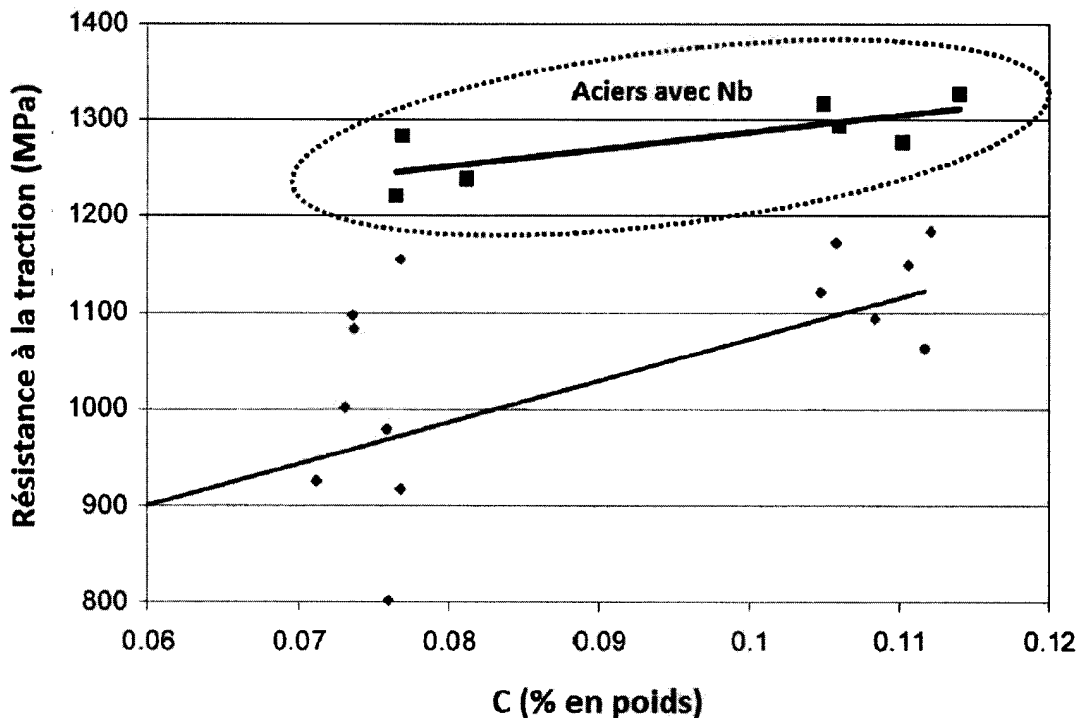


Figure 1

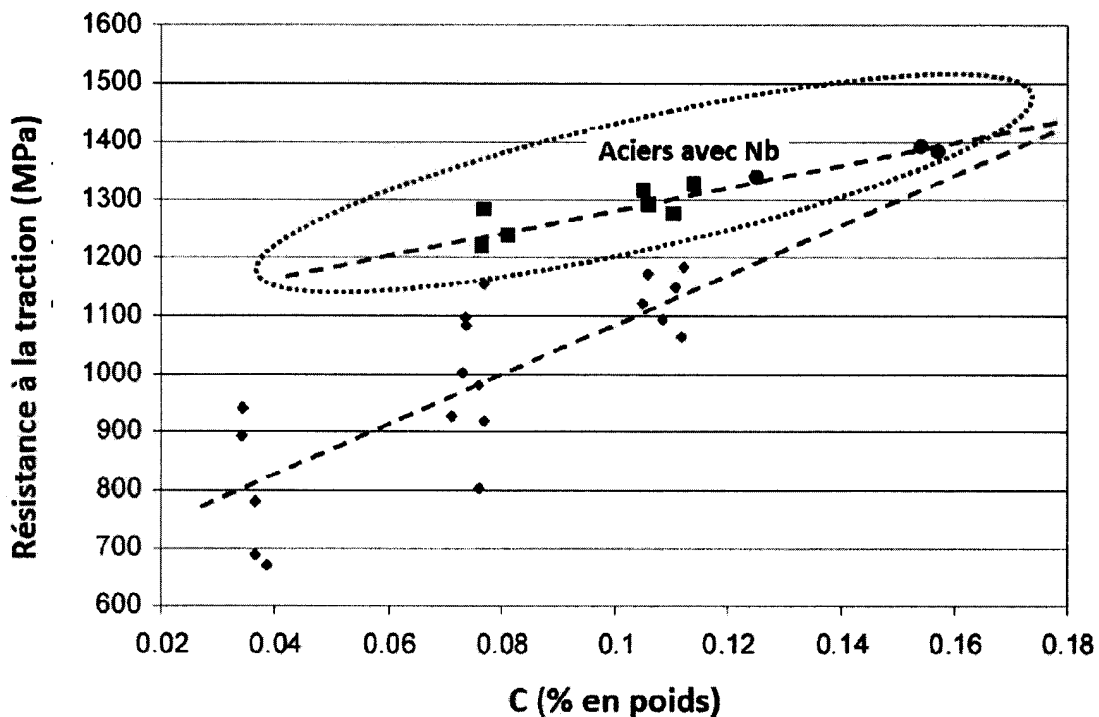



Figure 2

**RAPPORT DE RECHERCHE DEFINITIF AVEC OPINION SUR  
LA BREVETABILITE**

Établi conformément à l'article 43.2 de la loi 17-97 relative à la protection de la propriété industrielle telle que modifiée et complétée par la loi 23-13

<b>Renseignements relatifs à la demande</b>	
N° de la demande : 39245	Date de dépôt : 05/02/2015
	Date d'entrée en phase nationale : 01/08/2016
Déposant : ARCELORMITTAL S.A.	Date de priorité: 05/02/2014
Intitulé de l'invention : TOLE D'ACIER THERMOFORMABLE, DURCISSABLE A L'AIR ET POUVANT ETRE SOUDEE	
<b>Classement de l'objet de la demande :</b>	
CIB : C 21D 8/02, C 22C 38/26, C 22C 38/38, C 22C 38/12	
CPC :	
Le présent rapport contient des indications relatives aux éléments suivants :	
Partie 1 : Considérations générales	
<input checked="" type="checkbox"/> Cadre 1 : Base du présent rapport <input type="checkbox"/> Cadre 2 : Priorité	
Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité	
<input type="checkbox"/> Cadre 3 : Remarques de clarté <input type="checkbox"/> Cadre 4 : Observations à propos de revendications modifiées qui s'étendent au-delà du contenu de la demande telle qu'initialement déposée <input type="checkbox"/> Cadre 5 : Défaut d'unité d'invention <input type="checkbox"/> Cadre 6 : Observations à propos de certaines revendications exclues de la brevetabilité <input checked="" type="checkbox"/> Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle	
Examineur: Abdelfettah EL KADIRI	Date d'établissement du rapport : 14/01/2021
Téléphone: (+212) 5 22 58 64 14	

**Partie 1 : Considérations générales****Cadre 1 : base du présent rapport**

Les pièces suivantes servent de base à l'établissement du présent rapport :

- Demande telle qu'initialement déposée
- Demande modifiée suite à la notification du rapport de recherche préliminaire :
- Observations à l'appui des revendications maintenues
- Observations des tiers suite à la publication de la demande
- Réponses du déposant aux observations des tiers
- Nouveaux documents constituant des antériorités :
  - Suite à la recherche complémentaire (Couvrant les documents de l'état de la technique qui n'étaient pas disponibles à la date de la recherche préliminaire)
  - Suite à la recherche additionnelle (couvrant les éléments n'ayant pas fait l'objet de la recherche préliminaire)
- Observations à l'encontre de la décision de rejet

## Partie 2 : Opinion sur la brevetabilité

**Cadre 7 : Déclaration motivée quant à la Nouveauté, l'Activité Inventive et l'Application Industrielle**

Nouveauté	Revendications 1-13 Revendications aucune	Oui Non
Activité inventive	Revendications 1-13 Revendications aucune	Oui Non
Application Industrielle	Revendications 1-13 Revendications aucune	Oui Non

Il est fait référence aux documents suivants:

- D6 : JP 2004 315882 A
- D7 : JP 2000 080440 A
- D8 : EP 2 578 718 A1
- D9 : EP 2 138599 A1
- D10 : JP 2009 209384 A
- D11 : EP 2 426 230 A1
- D12 : WO 2013/149732 A1
- D13 : US 2013/273391 A1
- D14 : JP 2005 105367 A
- D15 : JP 2000 282175 A

### 1. Nouveauté

Aucun document de l'état de l'art ne divulgue les mêmes caractéristiques techniques contenues dans les revendications 1-13, par conséquent, l'objet des revendications 1-13 est nouveau conformément à l'article 26 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

### 2. Activité inventive

Le document D6, considéré comme l'état de l'art le plus proche de l'objet de la revendication 1, décrit (les références entre parenthèses s'appliquant à ce document et à son résumé PAJ): une tôle d'acier à haute résistance, galvanisée à chaud au trempé, de la composition susmentionnée, présentant une  $TS \geq 900$  MPa, une structure monophasée en martensite et un excellent diamètre possibilité d'extension (revendications 1-9, paragraphes 17-79, résumé de PAJ).

Une comparaison de la définition de tôle d'acier selon la revendication 1 et les pages 3 à 7 de la description de la demande et du document D6 de l'état de la technique est donnée sur le tableau suivant :

	Revendication 1	D6
C	0.04-0.30	0.03-0.12
Mn	0.5-4	2.3-3.3
Cr	0-4	opt 0.01-2.0
Nb	0.003-0.1	0.003-0.3
Al	0.015-0.1	0.001-0.2
Si	0.05-1.0	0.0 1-0.8
Mn+Cr	2.7-5	ok
TS	800-1400 MPa	≥ 900 MPa

L'objet de la revendication 1 diffère de D1 en ce que la tôle d'acier comprenne en outre  $Ti \leq 10.2$ ,  $V \leq 0.2$ ,  $Mo \leq 0.3$ ,  $B \leq 0.015$ .

Le problème à résoudre par la présente invention est la fourniture d'une tôle en acier alternative à celle de D1.

La solution proposée par la présente demande est considérée comme inventive, étant donné que l'homme de métier ne trouve aucune incitation des documents cités, seuls ou combinés, lui permettant d'arriver à la composition de la tôle d'acier objet de la revendication 1 notamment les caractéristiques distinctives sans l'exercice d'une activité inventive.

Ainsi, l'objet des revendications 1-13 implique une activité inventive conformément à l'article 28 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13.

### 3. Application industrielle

L'objet de la présente invention est susceptible d'application industrielle au sens de l'article 29 de la loi 17-97 telle que modifiée et complétée par la loi 23-13, parce qu'il présente une utilité déterminée, probante et crédible.