Office de la Propriété Intellectuelle du Canada
Un organisme d'Industrie Canada

Canadian Intellectual Property Office
An agency of Industry Canada

CA 2435938 C 2010/01/12

(11)(21) 2 435 938

(12) BREVET CANADIEN
CANADIAN PATENT

(13) C

(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2002/01/21
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2002/08/01
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2010/01/12
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2003/07/23
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: FR 2002/000225
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2002/059384
(30) Priorité/Priority: 2001/01/26 (FR01/01126)

(51) Cl.Int./Int.Cl. *C21D 8/04* (2006.01), *B32B 15/01* (2006.01), *C22C 38/00* (2006.01), *C22C 38/04* (2006.01), *C22C 38/06* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
MARSAL, JOEL, FR;
MESCOLINI, DOMINIQUE, FR

(73) Propriétaire/Owner:
USINOR, FR

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : ACIER ISOTROPE A HAUTE RESISTANCE, PROCEDE DE FABRICATION DE TOLES ET TOLES OBTENUES

(54) Title: HIGH-STRENGTH ISOTROPIC STEEL, METHOD FOR MAKING STEEL PLATES AND RESULTING PLATES

(57) Abrégé/Abstract:
La présente invention concerne un acier dont la composition comprend, exprimés en % en poids: 0,03 ≤ C ≤ 0,06; 0,50 ≤ Mn ≤ 1,10; 0,08 ≤ Si ≤ 0,20; 0,015 ≤ Al ≤ 0,070; N ≤ 0,007; Ni ≤ 0,040; Cu ≤ 0,040; P ≤ 0,035; S ≤ 0,015; Mo ≤ 0,008; Ti ≤ 0,005 étant entendu qu'elle comprend également du bore en une quantité telle que: 0,65 ≤ B/N ≤ 1,60 le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés résultant de l'élaboration, un procédé de fabrication de tôles ayant cette composition et les tôles ainsi obtenues.

(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
1 août 2002 (01.08.2002)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 02/059384 A3

(51) Classification internationale des brevets[7] : C21D 8/04, C22C 38/04, 38/06

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR02/00225

(22) Date de dépôt international :
21 janvier 2002 (21.01.2002)

(25) Langue de dépôt : français

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
01/01126 26 janvier 2001 (26.01.2001) FR

(71) Déposant *(pour tous les États désignés sauf US)* : **USINOR** [FR/FR]; Immeuble "La Pacific", La Défense 7, 11/13, cours Valmy, F-92800 Puteaux (FR).

(72) Inventeurs; et

(75) Inventeurs/Déposants *(pour US seulement)* : **MARSAL, Joël** [FR/FR]; 27C route de Gauchen, F-57570 Beyren les Sierck (FR). **MESCOLINI, Dominique** [FR/FR]; 64, rue Mazelle, F-57000 Metz (FR).

(74) Mandataire : **LAGRANGE, Jacques**; Usinor DIR-PI, Immeuble "La Pacific", TSA 10001, F-92070 La Défense Cedex (FR).

(81) États désignés *(national)* : AE, AG, AL, AM, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CN, CO, CR, CU, CZ, DM, DZ, EC, EE, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NO, NZ, OM, PH, PL, PT, RO, RU, SD, SG, SI, SK, SL, TJ, TM, TN, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) États désignés *(régional)* : brevet ARIPO (GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), brevet eurasien (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR), brevet OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :
— *avec rapport de recherche internationale*

(88) Date de publication du rapport de recherche internationale: 19 septembre 2002

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

(54) Title: HIGH-STRENGTH ISOTROPIC STEEL, METHOD FOR MAKING STEEL PLATES AND RESULTING PLATES

(54) Titre : ACIER ISOTROPE A HAUTE RESISTANCE, PROCEDE DE FABRICATION DE TOLES ET TOLES OBTENUES

(57) Abstract: The invention concerns a steel whereof the composition, expressed in wt. %, comprises: $0.03 \leq C \leq 0.06$; $0.50 \leq Mn \leq 1.10$; $0.08 \leq Si \leq 0.20$; $0.015 \leq Al \leq 0.070$; $N \leq 0.007$; $Ni \leq 0.040$; $Cu \leq 0.040$; $P \leq 0.035$; $S \leq 0.015$; $Mo \leq 0.008$; $Ti \leq 0.005$; providing that it also comprises boron in an amount such that: $0.65 \leq B/N \leq 1.60$, the rest of the composition consisting of iron and impurities resulting from preparation. The invention also concerns a method for making steel plates having said composition and the resulting plates.

(57) Abrégé : La présente invention concerne un acier dont la composition comprend, exprimés en % en poids: $0,03 \leq C \leq 0,06$; $0,50 \leq Mn \leq 1,10$; $0,08 \leq Si \leq 0,20$; $0,015 \leq Al \leq 0,070$; $N \leq 0,007$; $Ni \leq 0,040$; $Cu \leq 0,040$; $P \leq 0,035$; $S \leq 0,015$; $Mo \leq 0,008$; $Ti \leq 0,005$ étant entendu qu'elle comprend également du bore en une quantité telle que: $0,65 \leq B/N \leq 1,60$ le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés résultant de l'élaboration, un procédé de fabrication de tôles ayant cette composition et les tôles ainsi obtenues.

WO 02/059384 A3

Acier isotrope à haute résistance, procédé de fabrication de tôles et tôles obtenues

La présente invention concerne un acier et une tôle en acier isotrope à haute résistance présentant des propriétés mécaniques améliorées et apte à subir un traitement thermique sans vieillissement.

Ce type d'acier est notamment utilisé pour la fabrication de pièces d'aspect pour l'automobile comportant un revêtement organique.

Ces pièces sont généralement mises en forme par emboutissage, ce qui suppose que l'acier présente un bon niveau de ductilité, et soit le plus isotrope possible pour obtenir un bon tendu de pièces. En outre, on recherche également une bonne résistance à l'indentation, ce qui peut être obtenu grâce à une limite d'élasticité élevée.

Avant cette étape de mise en forme, les pièces sont recouvertes de revêtements organiques que l'on fait cuire au cours d'un traitement thermique déterminé, dont la température maximale est actuellement de l'ordre de 250°C pour une durée proche de 30 secondes.

Or, ce type de traitement thermique peut conduire à un phénomène de vieillissement de l'acier qui se traduit par une augmentation de la limite d'élasticité, une réduction de la ductilité et surtout par l'apparition d'un palier de limite d'élasticité. L'existence de ce palier n'est pas acceptable car il est à l'origine de l'apparition de vermiculures très visibles lors de l'emboutissage, donnant des défauts d'aspect rédhibitoires.

Ainsi, d'après EP 0 870 848, on connaît un acier au niobium extra doux et calmé à l'aluminium qui présente de bonnes propriétés de résistance mécanique ainsi que de bonnes propriétés de ductilité, mais qui est sujet au phénomène de vieillissement qui vient d'être décrit, et est donc inapte au dépôt d'un revêtement nécessitant un traitement thermique avant emboutissage.

La présente invention a donc pour but de mettre à disposition un matériau métallique isotrope présentant simultanément une limite d'élasticité

élevée sans palier, une bonne ductilité et pouvant subir un traitement thermique consécutif au dépôt d'un revêtement organique sans vieillissement.

À cet effet, un premier objet de l'invention telle que décrite de façon large est constitué par un acier dont la composition comprend, exprimés en % en poids:

$0{,}03 \leq C \leq 0{,}06$

$0{,}50 \leq Mn \leq 1{,}10$

$0{,}08 \leq Si \leq 0{,}20$

$0{,}015 \leq Al \leq 0{,}070$

$N \leq 0{,}007$

$Ni \leq 0{,}040$

$Cu \leq 0{,}040$

$P \leq 0{,}035$

$S \leq 0{,}015$

$Mo \leq 0{,}008$

$Ti \leq 0{,}005$

étant entendu qu'elle comprend également du bore en une quantité telle que :

$$0{,}65 \leq \frac{B}{N} \leq 1{,}60$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés résultant de l'élaboration.

Dans l'invention telle que revendiquée, la limite inférieure de la teneur en manganèse est toutefois égale à 0,853 et, en outre, la teneur en manganèse et la teneur en silicium sont telles que:

$$4 \leq \frac{\%Mn}{\%Si} \leq 15.$$

Les présents inventeurs ont en effet découvert que l'équilibre particulier des teneurs en éléments d'alliages permettait d'obtenir de façon

surprenante une nuance d'acier présentant l'ensemble des propriétés recherchées.

La teneur en carbone de la composition selon l'invention est comprise entre 0,03 et 0,06% en poids, car cet élément abaisse sensiblement la ductilité. Il est cependant nécessaire d'en avoir un minimum de 0,03% en poids pour éviter tout problème de vieillissement.

La teneur en manganèse de la composition selon l'invention doit être comprise entre 0,50 et 1,10% en poids. Dans l'invention telle que revendiquée, cette teneur est comprise entre 0,853 et 1,10% en poids. Le manganèse améliore la limite d'élasticité de l'acier tout en réduisant fortement sa ductilité. Il diminue également la tendance au vieillissement. En dessous de 0,50% en poids, on

observe des problèmes de vieillissement, tandis que au-delà de 1,10% en poids, il nuit trop à la ductilité.

La teneur en silicium de la composition selon l'invention doit être comprise entre 0,08 et 0,20 % en poids. Il améliore fortement la limite d'élasticité de l'acier tout en réduisant faiblement sa ductilité, mais augmente sensiblement sa tendance au vieillissement. Si sa teneur est inférieure à 0,08% en poids, l'acier ne présente pas de bonnes caractéristiques mécaniques, tandis que si elle dépasse 0,20% en poids, on se heurte à des problèmes d'aspect de surfaces sur lesquelles apparaissent des tigrages.

Dans un mode de réalisation préféré de l'invention, le rapport de la teneur en manganèse par rapport à la teneur en silicium est compris entre 4 et 15 afin d'éviter tout problème de fragilité de soudure par étincelage. En effet, si on se place en dehors de ces valeurs, on observe la formation d'oxydes fragilisants lors de cette opération de soudage.

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la teneur en manganèse est comprise entre 0,55 et 0,65% en poids et la teneur en silicium est comprise entre 0,08 et 0,12% en poids. Ce mode de réalisation permet d'obtenir des nuances présentant une ductilité améliorée, ainsi qu'une limite d'élasticité supérieure à 220 MPa.

Dans un autre mode de réalisation préféré de l'invention, la teneur en manganèse est comprise entre 0,95 et 1,05% en poids et la teneur en silicium est comprise entre 0,16 et 0,20% en poids. Ce mode de réalisation permet d'obtenir des nuances à ductilité importante présentant une résistance à la traction améliorée, ainsi qu'une limite d'élasticité supérieure à 260 MPa.

La teneur en azote de la composition doit être inférieure à 0,007% en poids, de préférence inférieure à 0,005% en poids, car cet élément est néfaste pour les propriétés mécaniques de l'acier. Sa présence dans l'acier selon l'invention résulte de l'élaboration.

La teneur en bore de la composition selon l'invention doit être telle que :

$$0{,}65 \leq \frac{B}{N} \leq 1{,}60 .$$

Le bore a pour fonction principale de fixer l'azote par précipitation précoce de nitrures de bore. Il doit donc être présent en quantité suffisante

pour éviter qu'une trop grande quantité d'azote demeure libre, sans toutefois dépasser trop la quantité stœchiométrique car la quantité résiduelle libre pourrait poser des problèmes métallurgiques ainsi qu'une coloration des rives de bobine. A titre indicatif, on mentionnera que la stœchiométrie stricte est atteinte pour un rapport B/N de 0,77.

La teneur en aluminium de la composition selon l'invention est comprise entre 0,015 et 0,070 % en poids, sans qu'elle présente une importance critique. L'aluminium est présent dans la nuance selon l'invention du fait du procédé de coulée au cours duquel on ajoute cet élément pour désoxyder l'acier. Il importe cependant de ne pas dépasser 0,070% en poids car on rencontrerait alors de problèmes d'inclusions d'oxydes d'aluminium, néfastes pour les caractéristiques mécaniques de l'acier.

Le phosphore est limité dans l'acier selon l'invention à une teneur inférieure à 0,035 % en poids, de préférence inférieure à 0,015 % en poids. Il permet d'augmenter la limite d'élasticité de la nuance, mais il augmente parallèlement sa tendance au vieillissement dans les traitements thermiques, ce qui explique sa limitation. Il est également néfaste pour la ductilité.

La teneur en titane de la composition doit être inférieure à 0,005% en poids, celle en soufre doit être inférieure à 0,015 % en poids, celle en nickel doit être inférieure à 0,040% en poids, celle en cuivre doit être inférieure à 0,040% en poids et celle en molybdène doit être inférieure à 0,008% en poids. Ces différents éléments constituent en réalité les éléments résiduels issus de l'élaboration de la nuance que l'on rencontre le plus souvent. On limite leurs teneurs car ils sont susceptibles de former des inclusions qui diminuent les caractéristiques mécaniques de la nuance.

Un deuxième objet de l'invention consiste en un procédé de fabrication d'une tôle de composition conforme à l'invention, comprenant:

- l'élaboration de l'acier et la coulée d'une brame,
- un laminage à chaud de cette brame pour obtenir une tôle, la température de fin de laminage étant supérieure à celle du point Ar3,
- un bobinage de la tôle à une température comprise entre 500 et

700°C,

- un laminage à froid de la tôle avec un taux de réduction de 50 à 80%,
- un traitement thermique de recristallisation,
- un écrouissage réalisé avec un taux de skin-pass compris de préférence entre 1,2 à 2,5%.

La composition selon l'invention peut être élaborée de façon classique et par tout procédé adapté.

A l'issue de l'élaboration, l'acier peut être coulé sous forme d'un demi-produit, comme une brame, que l'on réchauffe à une température de l'ordre de 1230°C à 1260°C environ pour la laminer à chaud, la température de fin de laminage étant supérieure à Ar3, qui est ici de l'ordre de 810°C. On obtient ainsi une tôle. La température de fin de laminage est de préférence inférieure à celle du point Ar3 augmentée de 20°C. Après cette opération, on peut procéder au bobinage de la tôle ainsi produite à une température comprise entre 500 et 700°C.

Dans un mode de réalisation préféré, on bobine la tôle à une température comprise entre 580 et 620°C, afin de limiter la taille de grains, ce qui permet d'augmenter la limite d'élasticité.

La tôle est ensuite laminée à froid avec un taux de réduction de 50 à 80%, de préférence de 60 à 78%, et subit un traitement thermique de recristallisation comprenant, de préférence, une première étape de recuit statique sous hydrogène à une température supérieure à la température de recristallisation de l'acier pendant 5 à 15 heures. A titre indicatif, cette température de recristallisation de la nuance est généralement comprise entre 540 et 570°C. Ce recuit est effectué sous hydrogène afin d'éviter tout problème de coloration des rives de la tôle.

Le traitement thermique de recristallisation comprend en outre, de préférence, une deuxième étape de refroidissement statique lent effectué en une durée de plus de 30 heures, de façon particulièrement préférée supérieure ou égale à 40 heures. Ce refroidissement est effectué lentement afin de s'assurer de la parfaite stabilité des précipités de cémentite dans la

matrice ferritique. C'est pour cette même raison qu'on le réalise de manière statique ce qui permet d'obtenir ce type de refroidissement lent.

Il reste cependant parfaitement possible de réaliser un refroidissement plus rapide et d'obtenir les résultats recherchés dans la présente invention.

Les tôles peuvent ensuite être soumises à un écrouissage avec un skin-pass compris de préférence entre 1,2 et 2,5%, et par exemple de l'ordre de 1,5%, qui permet de réduire au maximum tout palier de limite d'élasticité résiduel. Il est préférable de ne pas dépasser un taux de 2,5% car on dégrade la ductilité, mais il est également préférable de ne pas descendre en dessous de 1,2% pou éviter tout problème de vieillissement.

On peut ensuite procéder au dépôt d'un revêtement organique et au traitement thermique nécessaire à sa bonne fixation. Un tel traitement peut, par exemple, consister en un chauffage rapide jusqu'à 250°C avec maintien à cette température pendant 30 secondes environ, suivi d'un refroidissement.

Pour pouvoir comparer entre eux deux traitements thermiques effectués à des températures différentes pendant des temps différents, on utilise une grandeur appelée PAREQ qui est définie par :

$$PAREQ = -0{,}76 \times \log\left(\int \exp(-\Delta H/RT).dt\right)$$

avec ΔH : énergie de diffusion du carbone dans le fer (environ 112 kJ/mol)

T : température du cycle,

que l'on intègre sur la durée du traitement thermique.

Plus le traitement thermique est chaud ou long, plus la valeur du PAREQ est basse. Deux traitements thermiques différents, ayant une valeur de PAREQ identique, aboutiront au même résultat sur une même nuance d'acier.

Si on considère un traitement thermique portant l'acier à 250°C avec un maintien de 30 secondes à cette température, la valeur de PAREQ est de 10,26. Dans le cadre de la présente invention, on s'intéresse plus particulièrement aux traitements thermiques ayant une valeur de PAREQ comprise entre 9,80 et 11,5.

Les revêtements organiques dont il est question dans la présente

invention désignent, de préférence, des revêtements comprenant une résine réticulable et éventuellement des billes de métal comme le zinc, par exemple. Ces revêtements sont généralement déposés en couche mince de l'ordre de quelques microns et servent notamment à protéger l'acier contre la corrosion.

Si l'acier selon l'invention est plus particulièrement destiné à recevoir ce type de revêtement, il est bien entendu qu'il pourra être utilisé dans toute application nécessitant de résister à des traitements thermiques de PAREQ compris entre 9,80 et 11,50, que ce soit à la suite de l'application d'un revêtement de nature quelconque ou pas.

Un troisième objet de l'invention est constitué par les tôles d'acier isotrope de composition conforme à la présente invention et par les tôles obtenues par la mise en œuvre du procédé selon l'invention dans ses différentes variantes.

On préfère les tôles d'acier isotrope dont l'acier comprend une teneur en manganèse comprise entre 0,55 et 0,65% en poids et une teneur en silicium comprise entre 0,08 et 0,12% en poids et qui présentent, après avoir subi un traitement thermique ayant une valeur de PAREQ comprise entre 9,8 et 11,5, une limite élastique supérieure à 220 MPa, un allongement supérieur à 36% et un coefficient d'écrouissage supérieur à 0,20.

On préfère également les tôles d'acier isotrope dont l'acier comprend une teneur en manganèse comprise entre 0,95 et 1,05% en poids et une teneur en silicium comprise entre 0,16 et 0,20% en poids et qui présentent, après avoir subi un traitement thermique ayant une valeur de PAREQ comprise entre 9,8 et 11,5, une limite élastique supérieure à 260 MPa, une résistance à la traction supérieure à 400 MPa ainsi qu'un coefficient d'écrouissage supérieur à 0,18.

La présente invention va être illustrée à partir des exemples qui suivent, le tableau ci-dessous donnant la composition des différents aciers testés en % en poids, parmi lesquels, les coulées 1 à 3 sont conformes à la présente invention tandis que la coulée 4 est utilisée à titre de comparaison :

	Coulée 1	Coulée 2	Coulée 3	Coulée 4
C	0,041	0,045	0,038	0,025
Mn	0,853	0,989	0,598	0,227
Si	0,089	0,167	0,088	0,006
N	0,0035	0,0042	0,0032	0,0041
B	0,0026	0,0029	0,0051	-
Al	0,035	0,031	0,038	0,050
P	0,007	0,0065	0,007	0,006
S	0,011	0,0056	0,01	0,012
Cu	0,018	0,025	0,012	0,010
Ni	0,020	0,022	0,019	0,017
Cr	-	0,028	-	0,032
Ti	0,0012	0,001	-	0,002
Nb	-	-	-	0,016
Mo	0,0012	-	0,008	-

Le reste de la composition des coulées 1 à 4 est bien entendu constitué de fer et d'éventuellement impuretés résultant de l'élaboration.

Abréviations employées

A : allongement à la rupture en %

Re : limite d'élasticité en MPa

Rm : résistance à la traction en MPa

n : coefficient d'écrouissage

Δr : coefficient d'anisotropie plane

r : coefficient d'anisotropie

Exemple 1 - Limite d'élasticité et résistance à la traction

On fabrique une tôle d'acier ayant la composition de chacune des coulées 1 à 3 conformes à l'invention ainsi que de la coulée 4 comparative, en coulant une brame que l'on réchauffe à 1230°C environ puis que l'on lamine à chaud, avec une fin de température de laminage de 860°C en

moyenne. On bobine à une température de 585°C environ, puis on lamine à froid avec un taux de réduction de 73%. On procède ensuite à un recuit sous hydrogène à 630°C environ pendant 7 heures, suivi d'un refroidissement lent pendant 30 heures. On termine le processus par un écrouissage avec un taux de skin pass de 1,5%.

On réalise alors un premier essai en traction dans le sens travers de laminage selon la norme NF EN 10002-1 sur des échantillons prélevés en début et en fin de bobine.

On soumet ensuite la tôle à un traitement thermique ayant un PAREQ de 10,26 et on procède à un deuxième essai en traction selon la norme NF EN 10002-1. Ce traitement thermique consiste en un chauffage à 250°C à une vitesse de chauffage de 35°C par seconde suivi d'un maintien pendant 30 secondes à cette température.

On détermine ainsi les valeurs de limite d'élasticité et de résistance mécanique de la tôle et l'on obtient les résultats suivants :

	Coulée 1		Coulée 2		Coulée 3		Coulée 4	
	Re (MPa)	Rm (MPa)	Re (MPa)	Rm (MPa)	Re (MPa)	Rm (MPa)	Re (MPa)	Rm (MPa)
Avant traitement thermique	241	373	258	400	243	357	262	353
Après traitement thermique	247	380	266	396	240	355	329	355

On voit que les niveaux de Re et de Rm des coulées 1 à 3 selon l'invention ne sont pas dégradés par le traitement thermique, ce qui confirme l'aptitude de l'acier selon la présente invention à subir un tel traitement.

On constate également les excellentes valeurs obtenues pour la coulée 2 selon l'invention, qui atteint une limite d'élasticité supérieure à 260 MPa et une résistance à la traction de 400 MPa.

Exemple 2 - Ductilité

Grâce aux mêmes essais de traction que ceux pratiqués dans l'exemple 1, on détermine classiquement l'allongement à la rupture A, et le coefficient d'écrouissage n pour les quatre coulées.

Les courbes de traction montrent tout d'abord qu'aucun palier de limite d'élasticité n'a été observé pour les coulées 1 à 3 selon l'invention, que ce soit avant ou après le traitement thermique. Par contre, la coulée 4 comparative qui montrait déjà un petit palier avant le traitement thermique présente un palier de plus de 10% après ce même traitement, ce qui la rend totalement impropre aux objectifs poursuivis par la présente invention.

Les autres résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

	Coulée 1		Coulée 2		Coulée 3		Coulée 4	
	A (%)	n	A (%)	n	A (%)	n	A (%)	n
Avant traitement thermique	34,7	0,198	32,3	0,195	35,6	0,207	35,5	0,192
Après traitement thermique	34,9	0,190	34,3	0,180	36,5	0,202	34,7	0,216

A la lecture de ces résultats, on constate notamment de bonnes valeurs d'allongement à la rupture, ce qui permet de garantir la bonne fabrication par emboutissage des pièces. On obtient également un bon coefficient d'écrouissage n qui garantit l'obtention d'un bon niveau de limite d'élasticité pour les pièces finies, par effet de consolidation par écrouissage lors de l'emboutissage (effet appelé "Work Hardening").

On constate également que la coulée 3 selon l'invention présente d'excellentes valeurs de ductilité, aussi bien pour l'allongement à la rupture que pour le coefficient d'écrouissage.

Les valeurs obtenues pour la coulée 4 comparative sont données à titre indicatif, car ces valeurs ne sont pas significatives en présence d'un palier de plus de 10%.

Exemple 3 - Isotropie

L'anisotropie global d'un acier est déterminée par le coefficient d'anisotropie normale moyen r :

$$r = \frac{r(0)+r(90)+2r(45)}{4}$$

où r(0), r(90) et r(45) sont les valeurs des coefficients d'anisotropie normale r dans les directions longitudinale, transversale et oblique à 45°, au sens de laminage.

Le coefficient d'anisotropie planaire Δr peut être défini par :

$$\Delta r = \frac{r(0)+r(90)-2r(45)}{2}$$

On détermine ces coefficients sur les tôles avant et après qu'elles soient soumises à un traitement thermique analogue à celui décrit dans l'exemple 1. Les résultats sont rassemblés dans le tableau suivant :

	Coulée 1		Coulée 2		Coulée 3		Coulée 4	
	r	Δr	r	Δr	r	Δr	r	Δr
Avant traitement thermique	1,27	0,17	1,25	0,11	1,30	0,25	1,33	0,19
Après traitement thermique	1,25	0,20	1,23	0,11	1,26	0,24	1,47	0,21

Les valeurs obtenues pour la coulée 4 comparative sont données à titre indicatif, car ces valeurs ne sont pas significatives en présence d'un palier de plus de 10%.

On constate que l'isotropie des coulées d'acier selon l'invention est en moyenne bonne et les rend aptes à subir un emboutissage profond, la coulée 2 présentant une valeur de Δr particulièrement remarquable.

En effet, les présents inventeurs ont constaté que les nitrures de bore formés de façon contrôlée dans l'acier précipitent sur la tôle à chaud et ne viennent pas perturber la recristallisation ultérieure. La tôle selon l'invention présente ainsi une structure micrographique de grains dont l'élongation est proche de 1 et des valeurs du coefficient d'anisotropie r basses.

REVENDICATIONS

1. Acier dont la composition comprend, exprimés en % en poids:

0,03 ≤ C ≤ 0,06
0,853 ≤ Mn ≤ 1,10
0,08 ≤ Si ≤ 0,20
0,015 ≤ Al ≤ 0,070
N ≤ 0,007
Ni ≤ 0,040
Cu ≤ 0,040
P ≤ 0,035
S ≤ 0,015
Mo ≤ 0,008
Ti ≤ 0,005

étant entendu qu'elle comprend également du bore en une quantité telle que:

$$0{,}65 \leq \frac{B}{N} \leq 1{,}60$$

et en ce qu'en outre, la teneur en manganèse et la teneur en silicium sont telles que:

$$4 \leq \frac{\%Mn}{\%Si} \leq 15$$

le reste de la composition étant constitué de fer et d'impuretés résultant de l'élaboration.

2. Acier selon la revendication 1, caractérisé en ce que la teneur en manganèse est comprise entre 0,95 et 1,05% en poids et la teneur en silicium est comprise entre 0,16 et 0,20% en poids.

3. Acier selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la teneur en azote est inférieure à 0,005% en poids.

4. Acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la teneur en phosphore est inférieure à 0,015% en poids.

5. Procédé de fabrication d'une tôle de composition conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4, comprenant:

– l'élaboration de l'acier et la coulée d'une brame,

– un laminage à chaud de cette brame pour obtenir une tôle, la température de fin de laminage étant supérieure à celle du point Ar3,

– un bobinage de la tôle à une température comprise entre 500 et 700°C,

– un laminage à froid de la tôle avec un taux de réduction de 50 à 80%,

– un traitement thermique de recristallisation, et

– un écrouissage.

6. Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que le laminage à froid de la tôle est effectuée avec un taux de réduction de 60 à 78%.

7. Procédé selon la revendication 5 ou 6, caractérisé en ce que l'écrouissage est réalisé avec un taux de skin-pass compris entre 1,2 et 2,5%.

8. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que ledit traitement thermique de recristallisation est un recuit statique sous hydrogène effectué à une température supérieure à la température de recristallisation de l'acier pendant 5 à 15 heures, suivi d'un refroidissement statique lent effectué en une durée de plus de 30 heures.

9. Procédé selon l'une quelconque des revendications 5 à 8, caractérisé en ce que l'on dépose sur la tôle écrouie un revêtement organique, puis qu'on fait subir à la tôle revêtue un traitement thermique dont le PAREQ est compris entre 9,80 et 11,5, le PAREQ étant défini par:

$$PAREQ = -0{,}76 \times LOG\left(\int EXP(-\Delta h / RT).dT\right)$$

avec ΔH: énergie de diffusion du carbone dans le fer

dt: durée traitement thermique; et

T: température du cycle.

10. Procédé selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit revêtement organique est à base de résine réticulable et comprend des billes de métal.

11. Tôle d'acier isotrope de composition conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 4.

12. Tôle d'acier isotrope selon la revendication 11, caractérisée en ce que l'acier comprend une teneur en manganèse comprise entre 0,95 et 1,05% en poids et une teneur en silicium comprise entre 0,16 et 0,20% en poids, et en ce qu'elle présente, après avoir subi un traitement thermique ayant une valeur de PAREQ comprise entre 9,8 et 11,5, une limite élastique supérieure à 260 MPa, et une résistance à la traction supérieure à 400 MPa ainsi qu'un coefficient d'écrouissage supérieur à 0,18.