



(86) Date de dépôt PCT/PCT Filing Date: 2016/04/25
(87) Date publication PCT/PCT Publication Date: 2016/10/27
(45) Date de délivrance/Issue Date: 2023/05/09
(85) Entrée phase nationale/National Entry: 2017/10/26
(86) N° demande PCT/PCT Application No.: IB 2016/052331
(87) N° publication PCT/PCT Publication No.: 2016/170519
(30) Priorité/Priority: 2015/04/23 (IB PCT/IB2015/052975)

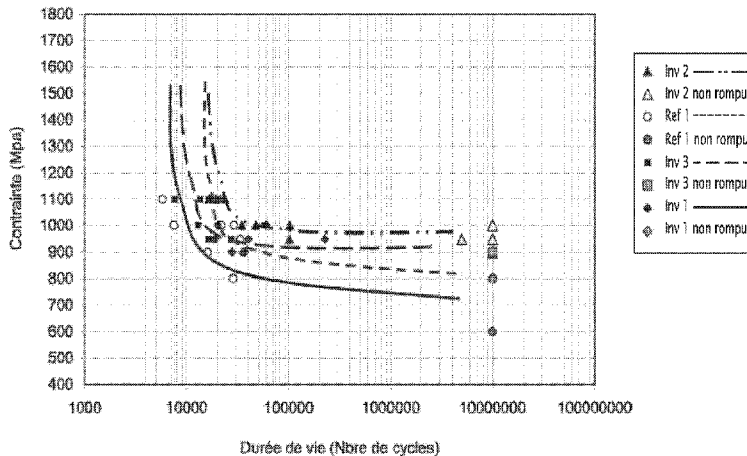
(51) Cl.Int./Int.Cl. *C22C 38/12* (2006.01),
C21D 8/00 (2006.01), *C22C 30/00* (2006.01),
C22C 38/08 (2006.01), *C22C 38/10* (2006.01)

(72) Inventeurs/Inventors:
PERRIN GUERIN, VALERIE, FR;
PINTON, GILLES, FR;
BORDAS, ANGELINE, FR;
VALLADE, CHRISTIAN, FR

(73) Propriétaire/Owner:
APERAM, LU

(74) Agent: ROBIC

(54) Titre : ACIER, PRODUIT REALISE EN CET ACIER, ET SON PROCEDURE DE FABRICATION
(54) Title: STEEL, PRODUCT MADE OF SAID STEEL, AND MANUFACTURING METHOD THEREOF



(57) Abrégé/Abstract:

Acier, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux : $0,0\% \leq Ni \leq 24,5\%$; $1,0\% \leq Mo \leq 12,0\%$; $1,0\% \leq Co \leq 25,0\%$; $20,0\% \leq Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C \leq 29,0\%$; $Co + Mo \geq 20,0\%$; $Ni + Co + Mo \leq 29\%$; traces $\leq Al \leq 4,0\%$; traces $\leq Ti \leq 0,1\%$; traces $\leq N \leq 0,0050\%$; traces $\leq Si \leq 2,0\%$; traces $\leq Mn \leq 4,0\%$; traces $\leq C \leq 0,03\%$; traces $\leq S \leq 0,0020\%$; traces $\leq P \leq 0,005\%$; traces $\leq B \leq 0,01\%$; traces $\leq H \leq 0,0005\%$; traces $\leq O \leq 0,0025\%$; traces $\leq Cr \leq 5,0\%$; traces $\leq Cu \leq 2,0\%$; traces $\leq W \leq 4,0\%$; traces $\leq Zr \leq 4,0\%$; traces $\leq Ca \leq 0,1\%$; traces $\leq Mg \leq 0,1\%$; traces $\leq Nb \leq 4,0\%$; traces $\leq V \leq 4,0\%$; traces $\leq Ta \leq 4,0\%$; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, et en ce que la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm^2 si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm^2 si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, ne comporte pas d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à $10 \text{ }\mu\text{m}$, et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, ne comporte pas plus de quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de $5 \text{ à } 10 \text{ }\mu\text{m}$ sur 100 mm^2 , l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm^2 . Produit réalisé en cet acier tel qu'une tôle ou une bande, et son procédé de fabrication

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

(19) Organisation Mondiale de la
Propriété Intellectuelle
Bureau international

(10) Numéro de publication internationale

WO 2016/170519 A1

(43) Date de la publication internationale
27 octobre 2016 (27.10.2016)

WIPO | PCT

- (51) Classification internationale des brevets :
 C22C 38/08 (2006.01) C21D 7/06 (2006.01)
 C22C 38/12 (2006.01) C21D 8/00 (2006.01)
 C22C 38/10 (2006.01) C21D 8/02 (2006.01)
 C22C 38/00 (2006.01) C21D 9/00 (2006.01)
 C22C 38/06 (2006.01) C21D 9/30 (2006.01)
 C22C 38/02 (2006.01) C21D 9/46 (2006.01)
 C22C 38/18 (2006.01) C22B 9/18 (2006.01)
 C22C 38/16 (2006.01) C22B 9/20 (2006.01)
 C22C 38/14 (2006.01) C22C 1/02 (2006.01)
 C21D 6/00 (2006.01) C22C 30/00 (2006.01)
 C21D 6/02 (2006.01)
- (21) Numéro de la demande internationale :
PCT/IB2016/052331
- (22) Date de dépôt international :
25 avril 2016 (25.04.2016)
- (25) Langue de dépôt : français
- (26) Langue de publication : français
- (30) Données relatives à la priorité :
PCT/IB2015/052975 23 avril 2015 (23.04.2015) IB
- (71) Déposant : APERAM [LU/LU]; 12C, rue Guillaume Kroll, 1882 Luxembourg (LU).
- (72) Inventeurs : PERRIN GUERIN, Valérie; Centre de Recherches Pierre Chevenard Avenue Jean Jaurès BP 1, 58160 Imphy (FR). PINTON, Gilles; Av. Jean Jaurès BP 1, 58160 Imphy (FR). BORDAS, Angéline; Av. Jean Jaurès BP 1, 58160 Imphy (FR). VALLADE, Christian; Av. Jean Jaurès BP 1, 58160 Imphy (FR).
- (74) Mandataires : BLOT, Philippe et al.; 2, place d'Estienne d'Orves, 75009 Paris (FR).
- (81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG,

[Suite sur la page suivante]

(54) Title : STEEL, PRODUCT MADE OF SAID STEEL, AND MANUFACTURING METHOD THEREOF

(54) Titre : ACIER, PRODUIT RÉALISÉ EN CET ACIER, ET SON PROCÉDÉ DE FABRICATION

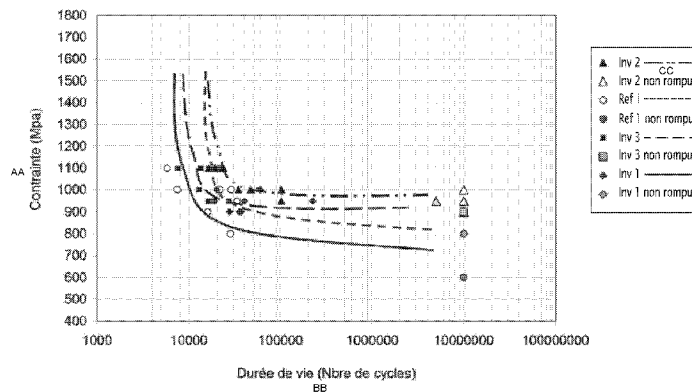


FIG.1

AA Stress (Mpa)
 BB Lifetime (no. of cycles)
 CC unruptured

(57) Abstract : The invention relates to steel, characterized in that the composition thereof in wt% is: $0.0\% \leq \text{Ni} \leq 24.5\%$, $1.0\% \leq \text{Mo} \leq 12.0\%$, $1.0\% \leq \text{Co} \leq 25.0\%$, $20.0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29.0$, $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20.0\%$, $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$, traces $\leq \text{Al} \leq 4.0\%$, traces $\leq \text{Ti} \leq 0.1\%$, traces $\leq \text{N} \leq 0.0050\%$, traces $\leq \text{Si} \leq 2.0\%$, traces $\leq \text{Mn} \leq 4.0\%$, traces $\leq \text{C} \leq 0.03\%$, traces $\leq \text{S} \leq 0.0020\%$, traces $\leq \text{P} \leq 0.005\%$, traces $\leq \text{B} \leq 0.01\%$, traces $\leq \text{H} \leq 0.0005\%$, traces $\leq \text{O} \leq 0.0025\%$, traces $\leq \text{Cr} \leq 5.0\%$, traces $\leq \text{Cu} \leq 2.0\%$, traces $\leq \text{W} \leq 4.0\%$, traces $\leq \text{Zr} \leq 4.0\%$, traces $\leq \text{Ca} \leq 0.1\%$, traces $\leq \text{Mg} \leq 0.1\%$, traces $\leq \text{Nb} \leq 4.0\%$, traces $\leq \text{V} \leq 4.0\%$, and traces $\leq \text{Ta} \leq 4.0\%$, the rest being iron and impurities resulting from production. Said steel is also characterized in that the inclusion population, observed by means of image analysis on a polished surface of 650 mm^2 if the steel is in the form of a hot-formed part or hot-laminated sheet and 800 mm^2 if the steel is in the form of a cold-laminated sheet, does not comprise any non-metal inclusions having an equivalent diameter of greater than $10 \mu\text{m}$, and in the case of a hot-laminated sheet, does not comprise more than four non-metal inclusions having an equivalent diameter of 5 to $10 \mu\text{m}$ per 100 mm^2 . The observation is carried out by means of image analysis on a polished surface of 650 mm^2 . The invention also relates to a product made of said steel, such as a sheet or strip, and to the manufacturing method thereof.

(57) Abrégé :

[Suite sur la page suivante]

WO 2016/170519 A1

WO 2016/170519 A1



MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasienn (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,

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

Acier, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux : $0,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$; $1,0\% \leq \text{Mo} \leq 12,0\%$; $1,0\% \leq \text{Co} \leq 25,0\%$; $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$; $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$; $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$; traces $\leq \text{Al} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{Ti} \leq 0,1\%$; traces $\leq \text{N} \leq 0,0050\%$; traces $\leq \text{Si} \leq 2,0\%$; traces $\leq \text{Mn} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{C} \leq 0,03\%$; traces $\leq \text{S} \leq 0,0020\%$; traces $\leq \text{P} \leq 0,005\%$; traces $\leq \text{B} \leq 0,01\%$; traces $\leq \text{H} \leq 0,0005\%$; traces $\leq \text{O} \leq 0,0025\%$; traces $\leq \text{Cr} \leq 5,0\%$; traces $\leq \text{Cu} \leq 2,0\%$; traces $\leq \text{W} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{Zr} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{Ca} \leq 0,1\%$; traces $\leq \text{Mg} \leq 0,1\%$; traces $\leq \text{Nb} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{V} \leq 4,0\%$; traces $\leq \text{Ta} \leq 4,0\%$; le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration, et en ce que la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm² si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, ne comporte pas d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 µm, et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, ne comporte pas plus de quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 µm sur 100 mm², l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm². Produit réalisé en cet acier tel qu'une tôle ou une bande, et son procédé de fabrication

Acier, produit réalisé en cet acier, et son procédé de fabrication

L'invention concerne le domaine des aciers dits « maraging », utilisés notamment
5 pour des applications nécessitant une ou plusieurs des propriétés suivantes : excellentes propriétés mécaniques (très bonne tenue en fatigue, haute limite élastique et résistance à la rupture élevée), simplicité de traitement thermique et stabilité dimensionnelle, facilité de soudage et bonne aptitude au formage.

Ces aciers maraging se caractérisent par une structure martensitique, pouvant
10 être vieillie, de façon à obtenir, à l'issue d'un vieillissement de l'acier, un durcissement par précipitation de phases intermétalliques favorables à l'obtention de propriétés mécaniques élevées.

On connaît classiquement des aciers maraging, de type M 250, de composition
typique (exprimée en pourcentages pondéraux, comme le seront toutes les compositions
15 données par la suite) Ni = 18%, Co = 9%, Ti = 0,45% (nuance dite X2NiCoMo18-9-5), le reste étant généralement du fer et des impuretés résultant de l'élaboration. Ils sont utilisés pour réaliser, notamment, des pièces à hautes propriétés, aptes à être utilisées aussi bien
comme pièces massives (arbres de moteurs, pales de centrifugeuse...) que comme
pièces de précision à performances élevées : ressorts pour l'horlogerie, lames pour
20 fleurets, éléments de courroies de transmission automatique de type CVT (Continuous Variable Transmission) pour, notamment, des automobiles ou des véhicules en général, ou des machines-outils ou autres machines tournantes... Dans le cas d'applications en fines épaisseurs où la pièce est sollicitée en fatigue, il est habituel de procéder, en plus du vieillissement, à un traitement superficiel de durcissement de la pièce par nitruration,
25 carbonituration, grenailage, cémentation...

On connaît aussi, par le document EP-B1-1 339 880, des aciers maraging dont la
composition est: Ni = 12 à 24,5% ; Mo = 2,5% ; Co = 4,17% ; Al ≤ 0,15% ; Ti ≤ 0,1% ; N ≤
30 30 ppm ; Si ≤ 0,1% ; Mn ≤ 0,1% ; C ≤ 50 ppm ; S ≤ 10 ppm ; P ≤ 50 ppm ; H ≤ 3 ppm ; O ≤ 10 ppm ; le reste étant du Fe et des impuretés résultant de l'élaboration, avec Ni + Mo compris entre 20 et 27% ; Co% x Mo% compris entre 50 et 200 ; Ti% x N% ≤ 2.10⁻⁴, qui sont produits par des méthodes incluant des traitements de refusion sous vide de type VIM (Vacuum Induction Melting) et/ou VAR (Vacuum Argon Remelting), éventuellement couplées à un traitement par refusion sous laitier électroconducteur ESR (ElectroSlag Remelting). Ces aciers sont ensuite transformés à chaud et à froid pour obtenir des
35 bandes de faible épaisseur (1 mm ou moins par exemple). Après mise en forme de la

pièce, on procède à un traitement de durcissement par précipitation qui confère à la pièce ses propriétés mécaniques à cœur ; un traitement de surface ultérieur pourra conférer à la pièce des propriétés accrues en surface concernant la sollicitation en fatigue, la friction statique, le frottement dynamique...

5 Par rapport à des aciers maraging précédemment connus contenant environ 18% de Ni, 9% de Co, 5% de Mo, 0,5% de Ti, et un peu d'Al, ces aciers de EP-B1-1 339 880 se distinguent par une tenue en fatigue supérieure, associée à une propreté inclusionnaire contrôlée et une résistance mécanique plus élevée, supérieure à 2000 MPa (à l'état vieilli). De manière plus détaillée : les propriétés mécaniques sur produit laminé à
10 froid visées sont $Ar > 2.5\%$, $Rp_{0.2} < 1140$ MPa, $Rm < 1480$ MPa ; sur état vieilli, $Rp_{0.2} > 1770$ MPa, $Rm > 1800$ MPa ; enfin sur état nitruré les propriétés visées sont $Ar > 1\%$; $Rm > 1930$ MPa..

On connaît également par le document EP-B1-2 180 073 des aciers maraging à
15 hautes tenue en fatigue et résistance à la traction destinés à des courroies CVT, de composition : $C \leq 100$ ppm ; $Si \leq 0,1\%$; $Mn \leq 0,1\%$; $P \leq 0,01\%$; $S \leq 50$ ppm ; $Ni = 17 - 22\%$; $Cr = 0,1-4,0\%$; $Mo = 3,0-7,0\%$; $Co = 10,0-20,0\%$; $Ti \leq 0,1\%$; $Al \leq 0,05\%$; $N \leq 300$ ppm ; $O \leq 50$ ppm ; $0 < B \leq 0,01\%$; une présence optionnelle de jusqu'à 0,01% de Ca, jusqu'à 0,005% de Mg, jusqu'à 0,01% de Zr, le reste étant du Fe et des impuretés,
20 thermiques et thermomécaniques subis leur confèrent un grain très fin, de ASTM 10 ou plus.

Le but de l'invention est de proposer un nouveau type d'aciers maraging qui présente de meilleures propriétés mécaniques que, notamment, ceux que l'on vient de décrire. Ce nouveau type d'aciers aurait des propriétés optimisées pour diverses
25 applications. Une résistance à la traction et/ou une résistance à la fatigue améliorées seraient des propriétés avantageuses à rechercher, ainsi qu'une capacité à former, lors d'un traitement de surface, une couche nitrurée, carbonitrurée, cémentée, grenillée ou autres, capable d'introduire en surface des contraintes résiduelles permettant de retarder la fissuration en sollicitation cyclique qui serait due à une mise en compression des
30 couches surfaciques. L'effet des traitements de surface peut être aussi évalué au travers de la dureté conférée au produit en surface.

A cet effet, l'invention a pour objet un acier, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- $10,0\% \leq Ni \leq 24,5\%$, de préférence $12,0\% \leq Ni \leq 24,5\%$;
- 35 - $1,0\% \leq Mo \leq 12,0\%$, de préférence $2,5\% \leq Mo \leq 9,0\%$;

- $1,0\% \leq \text{Co} \leq 25,0\%$;
 - $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, de préférence $22,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, mieux $22,5\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$;
 - 5 - $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$; de préférence $\text{Co} + \text{Mo} \geq 21,0\%$; mieux $\text{Co} + \text{Mo} \geq 22,0\%$;
 - $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$; de préférence $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 41,0\%$;
 - traces $\leq \text{Al} \leq 4,0\%$, de préférence $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$;
 - traces $\leq \text{Ti} \leq 0,1\%$;
 - traces $\leq \text{N} \leq 0,0050\%$;
 - 10 - traces $\leq \text{Si} \leq 2,0\%$; de préférence $0,04\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$;
 - traces $\leq \text{Mn} \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq \text{C} \leq 0,03\%$;
 - traces $\leq \text{S} \leq 0,0020\%$, de préférence traces $\leq \text{S} \leq 0,0010\%$;
 - traces $\leq \text{P} \leq 0,005\%$;
 - 15 - traces $\leq \text{B} \leq 0,01\%$;
 - traces $\leq \text{H} \leq 0,0005\%$;
 - traces $\leq \text{O} \leq 0,0025\%$;
 - traces $\leq \text{Cr} \leq 5,0\%$;
 - traces $\leq \text{Cu} \leq 2,0\%$;
 - 20 - traces $\leq \text{W} \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq \text{Zr} \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq \text{Ca} \leq 0,1\%$;
 - traces $\leq \text{Mg} \leq 0,1\%$;
 - traces $\leq \text{Nb} \leq 4,0\%$;
 - 25 - traces $\leq \text{V} \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq \text{Ta} \leq 4,0\%$;
- le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- et en ce que la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud ou
- 30 d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm² si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, ne comporte pas (est exempte) d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 µm, de préférence ne comporte pas d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 8 µm, et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, comporte au plus quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 µm

sur 100 mm², l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm².

De préférence, $18,0\% \leq \text{Ni} + \text{Mo} \leq 27,0\%$.

Cr peut n'être présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration

5 Autrement dit, $\text{traces} \leq \text{Cr} < 0,10\%$.

L'invention a également pour objet un procédé d'élaboration d'un produit en acier, caractérisé en ce que :

- on prépare une électrode de refusion en un acier dont la composition est conforme à ce qui vient d'être exposé ;

10 - on exécute une refusion de cette électrode par un procédé à simple ou multiple refusion pour obtenir une électrode refondue ;

- on exécute au moins une transformation à chaud de l'électrode refondue, à une température comprise entre 1050 et 1300°C, pour obtenir une tôle transformée à chaud ou une bande transformée à chaud ;

15 - et optionnellement on exécute un traitement thermique sur la dite tôle transformée à chaud ou ladite bande transformée à chaud.

Ladite tôle ou bande transformée à chaud, éventuellement traitée thermiquement présente une population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur
20 à 10 µm, et comportant au plus quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 µm sur 100 mm².

Ladite tôle ou bande transformée à chaud, éventuellement traitée thermiquement, peut avoir une résistance à la traction supérieure ou égale à 1010 MPa, un module d'Young supérieur ou égal à 130 GPa et un allongement réparti supérieur ou
25 égal à 2%.

Ladite tôle transformée à chaud ou ladite bande transformée à chaud et éventuellement traitée thermiquement peut être ensuite laminée à froid en une ou plusieurs passes pour obtenir une tôle ou une bande ayant une épaisseur inférieure ou égale à 2 mm, de préférence inférieure ou égale à 1 mm.

30 La tôle ou la bande peut subir au moins un traitement thermique entre deux passes de laminage à froid et/ou après la dernière passe de laminage à froid.

Le taux de laminage à froid cumulé des diverses passes peut être d'au moins 30%, de préférence au moins 40%.

35 Ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid et éventuellement traitée thermiquement peut avoir une résistance à la traction supérieure ou égale à 2270 MPa,

une limite élastique conventionnelle supérieure ou égale à 2250 MPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.

Ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid et éventuellement traitée thermiquement peut être découpée, et ensuite éventuellement mise en forme.

- 5 Ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid éventuellement traitée thermiquement, découpée et, éventuellement, mise en forme, peut subir un traitement de durcissement entre 420 et 550°C pendant 30 min à 2 h, de préférence à 450-550°C pendant 1 à 2 h.

- 10 Ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid, et éventuellement traitée thermiquement, découpée et, éventuellement, mise en forme, peut subir, après son durcissement, un traitement superficiel pour l'amélioration de sa résistance aux sollicitations dynamiques.

Ledit traitement superficiel peut être une cémentation, ou une nitruration gazeuse, ou une nitruration ionique, ou une carbonituration, ou un grenailage.

- 15 La taille de grain de la tôle ou bande laminée à chaud éventuellement traitée thermiquement, ou de la tôle ou bande laminée à froid éventuellement traitée thermiquement, peut être de 8 ASTM ou plus fin, de préférence de 10 ASTM ou plus fin.

- 20 L'invention a également pour objet un produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement, caractérisé en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :

- $10,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$, de préférence $12,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$;
- $1,0\% \leq \text{Mo} \leq 12,0\%$, de préférence $2,5\% \leq \text{Mo} \leq 9,0\%$;
- $1,0\% \leq \text{Co} \leq 25,0\%$;
- $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, de préférence $22,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, mieux $22,5\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$;
- $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$; de préférence $\text{Co} + \text{Mo} \geq 21,0\%$; mieux $\text{Co} + \text{Mo} \geq 22,0\%$;
- $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$; de préférence $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 41,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Al} \leq 4,0\%$, de préférence $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$;
- 30 - $\text{traces} \leq \text{Ti} \leq 0,1\%$;
- $\text{traces} \leq \text{N} \leq 0,0050\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Si} \leq 2,0\%$; de préférence $0,04\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Mn} \leq 4,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{C} \leq 0,03\%$;
- 35 - $\text{traces} \leq \text{S} \leq 0,0020\%$, de préférence $\text{traces} \leq \text{S} \leq 0,0010\%$;

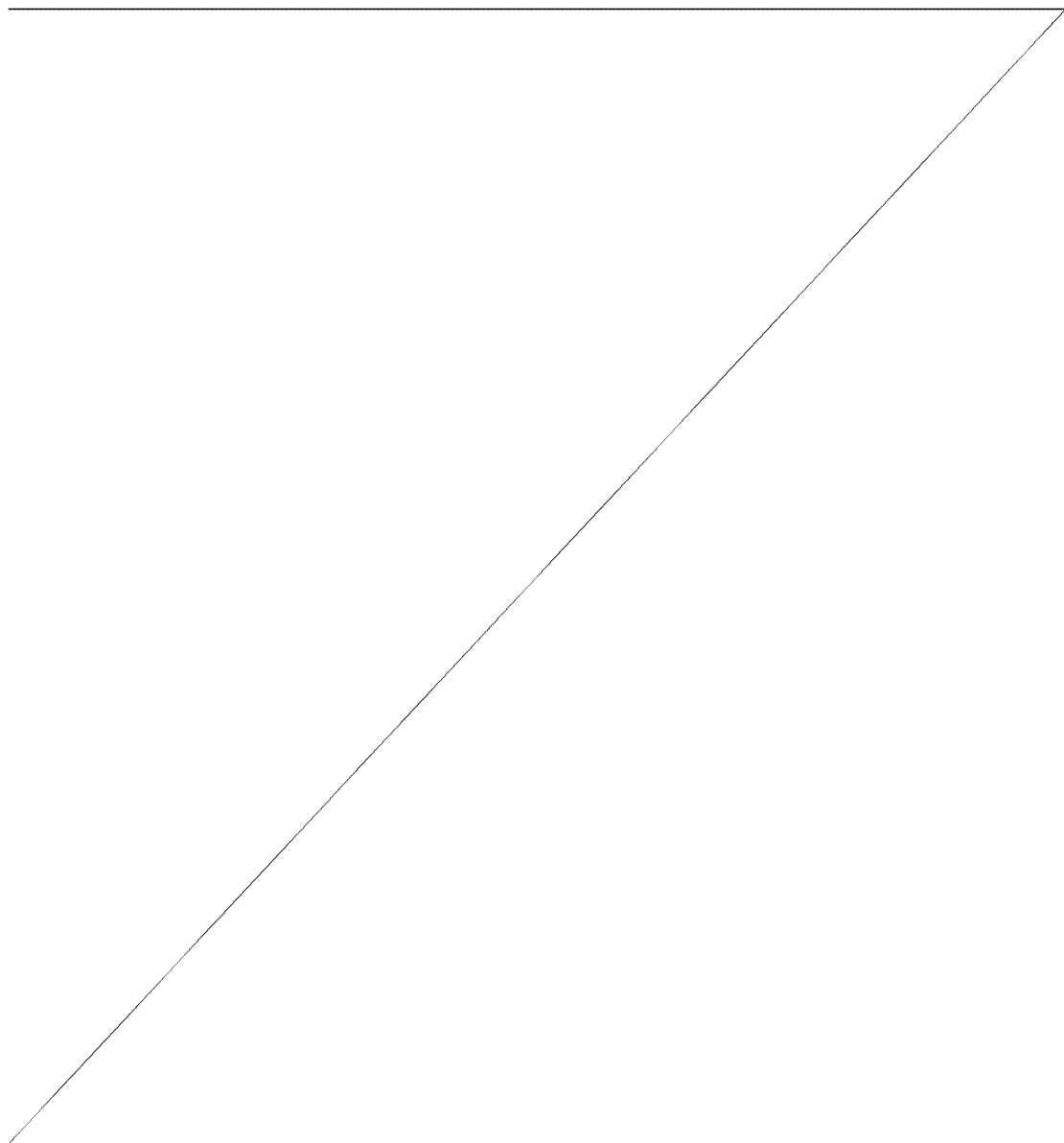
- traces $\leq P \leq 0,005\%$;
 - traces $\leq B \leq 0,01\%$;
 - traces $\leq H \leq 0,0005\%$;
 - traces $\leq O \leq 0,0025\%$;
- 5 - traces $\leq Cr \leq 5,0\%$;
- traces $\leq Cu \leq 2,0\%$;
 - traces $\leq W \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq Zr \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq Ca \leq 0,1\%$;
- 10 - traces $\leq Mg \leq 0,1\%$;
- traces $\leq Nb \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq V \leq 4,0\%$;
 - traces $\leq Ta \leq 4,0\%$;
- le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- 15 et en ce que la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, ne comporte pas (est exempte) d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 μ m, de préférence pas d'inclusion de taille supérieure à 8 μ m, et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, ne comporte pas plus
- 20 de quatre (ou comporte au plus quatre), inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 μ m sur 100 mm², l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm².
- De préférence, $18,0\% \leq Ni + Mo \leq 27,0\%$.
- Cr peut n'être présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.
- 25 Autrement dit, traces $\leq Cr < 0,10\%$.
- Ce produit peut avoir une résistance à la traction supérieure ou égale à 1010 MPa, un module d'Young supérieur ou égal à 130 GPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.
- L'invention a également pour objet une tôle ou bande laminée à froid, en acier,
- 30 caractérisée en ce que sa composition est, en pourcentages pondéraux :
- $10,0\% \leq Ni \leq 24,5\%$, de préférence $12,0\% \leq Ni \leq 24,5\%$;
 - $1,0\% \leq Mo \leq 12,0\%$, de préférence $2,5\% \leq Mo \leq 9,0\%$;
 - $1,0\% \leq Co \leq 25,0\%$;

- $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, de préférence $22,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$, mieux $22,5\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$;
- $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$; de préférence $\text{Co} + \text{Mo} \geq 21,0\%$; mieux $\text{Co} + \text{Mo} \geq 22,0\%$;
- 5 - $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$; de préférence $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 41,0\%$;
- traces $\leq \text{Al} \leq 4,0\%$, de préférence $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$;
- traces $\leq \text{Ti} \leq 0,1\%$;
- traces $\leq \text{N} \leq 0,0050\%$;
- traces $\leq \text{Si} \leq 2,0\%$; de préférence $0,04\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$;
- 10 - traces $\leq \text{Mn} \leq 4,0\%$;
- traces $\leq \text{C} \leq 0,03\%$;
- traces $\leq \text{S} \leq 0,0020\%$, de préférence traces $\leq \text{S} \leq 0,0010\%$;
- traces $\leq \text{P} \leq 0,005\%$;
- traces $\leq \text{B} \leq 0,01\%$;
- 15 - traces $\leq \text{H} \leq 0,0005\%$;
- traces $\leq \text{O} \leq 0,0025\%$;
- traces $\leq \text{Cr} \leq 5,0\%$;
- traces $\leq \text{Cu} \leq 2,0\%$;
- traces $\leq \text{W} \leq 4,0\%$;
- 20 - traces $\leq \text{Zr} \leq 4,0\%$;
- traces $\leq \text{Ca} \leq 0,1\%$;
- traces $\leq \text{Mg} \leq 0,1\%$;
- traces $\leq \text{Nb} \leq 4,0\%$;
- traces $\leq \text{V} \leq 4,0\%$;
- 25 - traces $\leq \text{Ta} \leq 4,0\%$;
- le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
- et en ce que la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 800 mm^2 , ne comporte pas (est exempte) d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à $10 \mu\text{m}$, de préférence pas d'inclusion de taille supérieure
- 30 à $8 \mu\text{m}$.
- De préférence, $18,0\% \leq \text{Ni} + \text{Mo} \leq 27,0\%$.
- Cr peut n'être présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.
- Autrement dit, traces $\leq \text{Cr} < 0,10\%$.
- La tôle ou bande laminée à froid peut avoir subi au moins un traitement
- 35 thermique après le laminage à froid.

7a

L'invention a également pour objet une tôle ou bande laminée à chaud ou à froid des types précédents, caractérisée en ce que ladite tôle ou bande laminée à froid et éventuellement traitée thermiquement a une résistance à la traction supérieure ou égale à 2270 MPa, une limite élastique conventionnelle supérieure ou égale à 2250 MPa et un
5 allongement réparti supérieur ou égal à 2%.

L'invention a également pour objet un produit en acier, caractérisé en ce qu'il est issu d'une tôle ou bande laminée à chaud ou à froid du type précédent, éventuellement mise en forme, et en ce qu'il a subi un traitement superficiel pour l'amélioration de sa résistance aux sollicitations dynamiques.



Ledit traitement superficiel peut être choisi parmi une cémentation, une nitruration gazeuse, une nitruration ionique, une carbonitruration, un grenailage.

L'invention a également pour objet un arbre de turbine ou une pièce de transmission transformée à chaud, caractérisé en ce que ledit arbre ou ladite pièce
5 comporte au moins un élément réalisé à partir d'un produit transformé à chaud du type précédent.

L'invention a également pour objet une courroie de transmission, caractérisée en ce qu'elle comporte au moins un élément réalisé à partir d'une tôle ou bande laminée à froid ou d'un produit du type précédent.

10 Il peut s'agir d'une courroie de transmission de type CVT pour véhicule automobile.

L'invention a également pour objet un produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement du type précédent, ou une tôle ou bande laminée à froid et éventuellement traitée thermiquement
15 du type précédent, caractérisé en ce que la taille de grain du produit ou de la tôle ou bande est de 8 ASTM ou plus fin, de préférence de ASTM 10 ou plus fin.

Comme on l'aura compris, l'invention consiste à combiner une composition d'acier maraging déterminée, procurant une martensite dite « douce » du fait de la faible teneur en carbone de l'acier, avec une population d'inclusions non-métalliques (oxydes,
20 sulfures, nitrures essentiellement) répondant à des critères précis de nombre et, de préférence, de composition, cette population pouvant être obtenue après une élaboration soignée du métal liquide grâce à une combinaison de différents procédés d'élaboration et de conditions maîtrisées par les opérateurs.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit, donnée en
25 référence aux figures annexées suivantes :

- La figure 1 qui montre les résultats d'essais en fatigue effectués sur un échantillon de référence et sur trois échantillons d'un acier selon l'invention ;
- La figure 2 qui montre une caractérisation des couches nitrurées par leurs contraintes résiduelles en surface, effectuée sur deux échantillons de
30 référence et sur trois échantillons d'un acier selon l'invention ;
- La figure 3 qui montre une caractérisation des couches nitrurées par leurs niveaux de micro-dureté en surface, effectuée sur deux échantillons de référence et sur trois échantillons d'un acier selon l'invention.

La composition de l'acier (en pourcentages pondéraux) est motivée par les
35 considérations suivantes.

La teneur en Ni est comprise entre 10,0 et 24,5%, de préférence entre 12,0 et 24,5%. C'est à cette condition que :

- d'une part on obtient par les traitements thermiques habituels une structure martensitique ; une teneur en Ni de plus de 24,5%, combinée aux teneurs des autres éléments, ne permettrait pas d'obtenir une telle structure ;

- d'autre part on obtient après le durcissement par précipitation des propriétés de ductilité, dilatation, limite élastique, ténacité K1C particulièrement favorables pour les applications envisagées ; une teneur en Ni minimale de 10,0%, associée à des proportions définies de Co, Mo et autres éléments métalliques, est adaptée à cette obtention. Une teneur en Ni minimale de 12,0% est encore préférée pour obtenir cet effet de façon satisfaisante.

La teneur en Mo est comprise entre 1,0 et 12,0%. Cet élément permet le durcissement structural en formant, lors du vieillissement, des intermétalliques Fe_2Mo , $MoNi_3$ et autres, fins et dispersés. Optimalement, la teneur en Mo est de 2,5 à 9,0% pour obtenir à la fois un effet très significatif du Mo et des intermétalliques de taille optimale pour assurer l'homogénéité des propriétés mécaniques.

Mo intervient aussi dans la constitution et les propriétés des couches nitrurées qui comportent des précipités fins et dispersés de natures différentes selon les conditions de la nitruration (précipités de types Mo_2N , $Fe_xMo_yN_z$...).

La teneur en Ni + Mo est à ajuster en fonction des températures de transformation martensitique M_s (début de transformation), M_f (fin de transformation) nécessaires à l'obtention et au maintien d'une structure martensitique et d'une stabilité dimensionnelle, compte tenu des applications envisagées pour les futurs produits et des températures d'usage qu'elles imposeront. Par exemple, pour une application à basse température d'utilisation, on vise une température M_s supérieure à 100°C, et une somme Ni + Mo de 18,0 à 27,0% est favorable de ce point de vue. Les M_s sont calculées selon la formule :

$$M_s = - 29 Ni\% + Mo\% + 890^\circ C,$$

pour Co = 9-16% et pour des teneurs en Cr, Al et Ti très faibles, ces éléments ayant une influence marquée sur M_s , cette température pouvant, de toute façon, être évaluée par l'expérience.

M_f s'en déduit aisément par l'expérience.

La teneur en Co est comprise entre 1,0 et 25,0%. Cet élément stabilise la structure martensitique, élève les températures de solidus et participe de manière indirecte au durcissement en favorisant la précipitation des intermétalliques. Si on en met

trop, les propriétés de l'acier et les conditions de sa mise en œuvre peuvent être significativement modifiées et l'addition devient coûteuse.

Si Co est relativement bas, il faut compléter son action par l'addition d'un ou plusieurs des éléments durcissants Si, Mn, Cu, W, V, Nb, Zr, C.

5 La conséquence de cette exigence sur la nécessité d'avoir des quantités suffisantes de Co est que la somme $Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C$ est comprise entre 20,0 et 29,0%. Cela implique que si la teneur en Co est de moins de 8%, on devra toujours ajouter au moins un élément choisi parmi Si, Mn, Cu, W, V, Nb, Zr, Ta, Cr, C (dans les limites prescrites par ailleurs), compte tenu du fait que Mo n'est
10 jamais supérieur à 12%.

La limite inférieure de 20,0% est justifiée par l'obtention d'un effet durcissant suffisant. Au-delà de 29,0%, les propriétés magnétiques et les conditions de mise en œuvre du matériau s'en voient significativement modifiées. De préférence, la limite inférieure est de 22,0%, mieux 22,5%, pour obtenir les propriétés maximales à l'issue du
15 vieillissement et les valeurs d'usage requises par les applications les plus exigeantes envisagées.

Les teneurs en Ni, Co, Mo sont également dépendantes les unes des autres, en ce que :

- le Ni améliore la ductilité (à basses températures notamment), et permet de
20 contrôler la dilatation et le module d'élasticité ; il a aussi un effet sur la ténacité et le rapport Re/Rm ; ses teneurs sont encadrées : en borne inférieure pour bénéficier des propriétés favorables que l'on a citées (en général dès 5% pour les alliages), et en borne supérieure pour ne pas gêner la transformation martensitique du fait de son caractère gammagène ; à cet effet, les influences de Co et Mo sont aussi à prendre en compte ;

25 - le Mo est ajouté à des fins de durcissement structural par la précipitation d'intermétalliques ; et, afin de viser les propriétés en rupture des nuances maraging, il convient d'avoir une structure martensitique à vieillissement ; le Mo intervient dans ce durcissement comme on l'a dit plus haut (dès 1%) ; il ne trouve ses limites que dans la formation de phases fragilisantes (phases de Laves, σ , μ , θ , δ ...), pouvant être associées
30 aux ségrégations locales la limite supérieure est de 12% ; le Mo participe aussi à la nitruration des surfaces par son affinité avec l'azote (dès quelques %). Ainsi afin d'avoir une structure martensitique vieillissante, les éléments Co et Mo agissent conjointement quant à la précipitation de phases durcissantes, mais de manière dissociée quant à la stabilisation des structures ferritiques ; afin d'unifier ces tendances, une formule est
35 proposée afin de garantir une température M_s de plus de 100°C , selon :

Co + Mo \geq 20,0 %, de préférence \geq 21,0%, mieux \geq 22,0% ;

et :

Ni + Co + Mo \geq 29% ; de préférence \geq 41,0%.

La teneur en Al est comprise entre des traces et 4,0%. Al n'est pas
5 obligatoirement ajouté. On peut réduire sa présence au niveau de celle d'un élément
résiduel, résultant de la quantité qu'il a été, éventuellement, nécessaire d'ajouter pour la
désoxydation initiale du métal liquide au début de l'élaboration, ou procéder à un ajout
volontaire d'Al pour obtenir des propriétés spécifiques. Pour un coût modéré, il augmente
la résilience et peut participer au durcissement structural en formant des composés
10 intermétalliques. Egalement, il limite l'oxydation pendant l'élaboration du métal liquide et
les transformations du métal solidifié. Mais il faut éviter de former des nitrures d'Al et de
gros oxydes contenant de l'Al pour ne pas dégrader la tenue en fatigue et la ténacité. De
préférence il subsiste plus de 0,01% et moins de 1,0% d'Al dans l'acier final.

La teneur en Ti est comprise entre des traces et 0,1%. En évitant une présence
15 significative de Ti (que d'autres aciers maraging exigent), on vise à empêcher la formation
de nitrures de Ti au cours de la solidification du métal liquide, qui détériorent la tenue en
fatigue du produit final. Dans l'invention, on obtient le durcissement structural désiré par
d'autres moyens.

La teneur en N est imposée à un bas niveau, à savoir au plus 0,0050% (50 ppm),
20 pour éviter la formation de nitrures autant que possible.

La teneur en Si est comprise entre des traces et 2,0%, de préférence comprise
entre 0,04% et 2,0%. Il peut être utilisé pour la désoxydation du métal liquide lors de
l'élaboration, mais il faut veiller à éviter de conserver de gros oxydes contenant du Si
(comme d'autres désoxydants) dans l'acier solidifié final, d'où la limite supérieure de
25 2,0%. Si stabilise la martensite, accroît la solubilité de certains éléments et ainsi
homogénéise la structure. Il améliore aussi la limite élastique.

La teneur en Mn, élément non obligatoire, est comprise entre des traces et 4,0%,
voire entre 0.2 et 4%. Le Mn améliore les propriétés mécaniques et les possibilités de
travail à chaud. Mn est aussi lui-même un désoxydant efficace, et peut agir sur ce point
30 en synergie avec le Si. Il faut cependant limiter sa teneur à 4% pour éviter de former de
gros précipités, des phases fragiles, ou des phases à bas point de fusion. Enfin, il est
gammagène et peut donc gêner la transformation martensitique s'il est présent en
quantité excessive.

La teneur en C est comprise entre des traces et 0,03%. On veut ainsi former de
35 la martensite douce, car la martensite au carbone est fragile et ne permet pas la mise en

forme nécessaire au produit. On veut aussi éviter la formation de carbures qui dégraderaient les propriétés mécaniques.

La teneur en S est comprise entre des traces et 0,0020%, de préférence entre des traces et 0,0010%, pour ne pas former de sulfures qui dégraderaient la tenue en fatigue s'ils étaient présents en nombre et de grande taille. De plus, le S fragilise les joints de grains en y ségrégeant, d'où la formation possible de criques lors des sollicitations de l'acier. Il faut donc éviter la présence de S dissous, grâce à une sélection soignée des matières premières et/ou une désulfuration profonde. La teneur maximale tolérable précise est à ajuster selon les applications visées, d'une façon connue (dans la limite de 0,002% au plus, comme précisé plus haut).

La teneur en P est comprise entre des traces et 0,005%, de préférence moins, pour limiter la possibilité qu'il ne ségrége aux joints de grains, comme S.

B peut n'être présent qu'à l'état de traces, mais un ajout est préféré, jusqu'à 0,01%. Cet élément favorise l'affinement des structures et diminue la taille de grain. Il est bon pour les propriétés mécaniques, mais il ne faut pas en ajouter trop pour ne pas perdre en ductilité.

La teneur en H est limitée à 5 ppm pour éviter des problèmes de fragilisation par l'hydrogène. Le fait de réaliser un ou des traitements sous vide pendant l'élaboration du métal liquide et d'éviter les contaminations ultérieures du métal liquide par l'humidité ambiante, le laitier ou des matières ajoutées éventuelles permet généralement de ne pas dépasser ce niveau.

La teneur en O tolérable dépendrait, en toute rigueur, des applications envisagées pour le produit final, comme pour les teneurs tolérables en S, B et autres résiduels où éléments pouvant former des précipités. Mais on fixe la teneur maximale tolérable à 25 ppm, ce qui résulte des procédés employés lors de l'élaboration du métal liquide. On vise ainsi à ne pas avoir dans le produit final d'oxydes dont on ne pourrait pas maîtriser la composition, la répartition et la taille.

La teneur en Cr est comprise entre des traces et 5,0%. Sa présence n'est donc pas obligatoire, et doit être limitée pour ne pas abaisser Ms et risquer de dégrader la qualité de la population inclusionnaire. Mais il augmente la résistance à l'oxydation, et aide la nitruration, de sorte qu'on peut parfois avoir des raisons d'en ajouter volontairement. On préfère cependant généralement ne pas ajouter de Cr et le laisser présent seulement à l'état de traces résultant de l'élaboration. De telles traces sont habituellement considérées comme étant des teneurs inférieures à 0,10%, voir par exemple le document EP-B1-1 339 880, cité dans l'introduction, qui dit que 0,06% sont de

telles « traces ». On peut abaisser le niveau de Cr à des valeurs encore inférieures, par un choix très soigneux des matières premières.

La teneur en Cu est comprise entre des traces et 2,0%. L'ajout, s'il a lieu, doit être limité car Cu est gammagène. Mais Cu participe au durcissement et améliore la résistance à l'oxydation, d'où l'intérêt possible de cet ajout.

La teneur en W est comprise entre des traces et 4,0%. Il n'est donc pas obligatoire et peut être ajouté principalement lorsqu'on désire imposer une teneur en Co, voire aussi en Mo, assez basse, comme on l'a vu plus haut.

La teneur en Zr est comprise entre des traces et 4,0%. On peut désirer ajouter cet élément pour le faire contribuer à la désoxydation et à la formation de fins nitrures.

Ca et Mg peuvent être retrouvés dans le métal du fait de l'usure des réfractaires d'élaboration, sous forme d'oxydes ou de sulfures. On peut également désirer ajouter volontairement ces éléments pour qu'ils contribuent à la désoxydation. La teneur finale doit être limitée à 0,1% pour chacun, afin d'éviter la formation d'oxydes dont on ne pourrait pas maîtriser la taille et la répartition.

Nb, Ta et V peuvent être ajoutés jusqu'à 4,0% chacun, pour suppléer une teneur relativement faible en Co et/ou Mo, comme on l'a vu.

Les éléments non cités ne sont, au plus, présents qu'à l'état d'impuretés résultant de l'élaboration et ne sont pas ajoutés volontairement.

Par rapport aux aciers maraging du document EP-B1-1 339 880, on tend donc à se placer à des teneurs en Co et/ou Mo plus élevées que celles qui étaient à l'époque privilégiées.

Concernant la population inclusionnaire, le critère à respecter, selon l'invention, est que cette population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme d'une pièce ou d'une tôle transformée à chaud, et de 800 mm² si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, ne comporte pas d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 µm, de préférence pas d'inclusions de taille supérieure à 8 µm, et, dans le cas d'une tôle transformée à chaud, ne comporte pas plus de quatre, inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 µm sur 100 mm² de la tôle transformée à chaud, l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm².

Les inclusions non-métalliques considérées sont les oxydes, les sulfures et les nitrures. La population d'oxydes est maîtrisée principalement par le choix des méthodes d'élaboration (désoxydation contrôlée du métal liquide, après laquelle on prend soin d'éliminer le mieux possible les grosses inclusions, notamment par l'utilisation de

procédés de refusion de l'électrode initialement coulée à partir du métal liquide). La population de sulfures est maîtrisée par l'imposition de teneurs en S très faibles, nécessitant un choix soigneux des matières premières et/ou une désulfuration du métal liquide. La population de nitrures est maîtrisée par l'imposition de teneurs en N basses ou très basses, grâce par exemple à l'utilisation de pressions réduites lors de l'élaboration du métal liquide et de la refusion de l'électrode, et à la limitation de la teneur en Ti du métal.

Les aciers selon l'invention sont préparés, par exemple, par les voies suivantes.

L'acier, d'abord élaboré à l'état liquide pour régler sa composition sur les éléments essentiels, est ensuite coulé sous forme d'électrodes de refusion. Ces électrodes sont :

- soit refondues une fois sous vide (procédé VAR, Vacuum Arc Remelting connu en lui-même), ou sous laitier électroconducteur (procédé ESR, Electro Slag Remelting, connu en lui-même), pour former, après coulée et solidification de l'acier liquide, des lingots, des billettes ou des brames ;

- soit refondues plusieurs fois, sous vide (VAR) ou sous laitier électroconducteur (ESR) pour former, après la coulée et la solidification, des lingots ou des brames.

On réalise ainsi soit une simple refusion, soit une refusion multiple, par exemple VAR + VAR ou ESR + VAR. Ces refusions permettent d'épurer le métal et d'améliorer la qualité de la solidification en réduisant les ségrégations et en affinant sa structure de solidification. En particulier, la refusion ESR permet d'abaisser efficacement la teneur en soufre, et la refusion VAR permet d'abaisser efficacement les teneurs en azote.

Les lingots ou brames sont alors laminés à chaud, après un réchauffage entre 1050 et 1300°C, typiquement aux environs de 1200°C, pour obtenir des tôles ou des bandes laminées à chaud de quelques millimètres d'épaisseur, par exemple d'environ 1,5 à 5 mm d'épaisseur.

Les produits laminés à chaud ayant cette épaisseur peuvent, dans certains cas, être utilisés soit à l'état brut de laminage à chaud, soit dans un état recristallisé contrôlé. Une recristallisation peut éventuellement déjà se produire de façon suffisante lors du laminage à chaud et du séjour de la bande laminée à chaud sous forme de bobines, mais au cas où elle serait insuffisante pour obtenir la microstructure et/ou les propriétés mécaniques souhaitées, un recuit de recristallisation peut être effectué ensuite pour ajuster cette recristallisation. Dans ce dernier cas, l'homme du métier sait comment régler les paramètres du recuit de recristallisation (température, durée...) pour ajuster la microstructure (notamment la taille de grain) et les propriétés mécaniques souhaitées.

On vise, typiquement, après laminage à chaud et recristallisation éventuelle (voire d'autres types de traitements thermiques), des résistances à la traction R_m de 1010 MPa ou davantage, un module d'Young E de 130 GPa au minimum et un allongement réparti A_r de 2% ou davantage.

5 Ces bandes laminées à chaud, et éventuellement traitées thermiquement, peuvent aussi ne pas être destinées à être utilisées directement, et il est alors nécessaire de diminuer leur épaisseur par une mise en forme à froid pour les applications envisagées. Dans ce cas, elles sont décapées, puis laminées à froid, avec un ou plusieurs recuits intermédiaires entre les différentes passes du laminage à froid, et
10 éventuellement un (ou des) recuit(s) final (finaux) de vieillissement, de recristallisation, ou d'autres types de traitements thermiques, ou des traitements de surface appropriés selon l'application visée (qui seront détaillés ensuite), pour obtenir des bandes laminées à froid d'épaisseur inférieure à 2 mm, de préférence inférieure ou égale à 1 mm, et par exemple de 0,4 mm ou de 0,2 mm d'épaisseur.

15 Le traitement de recristallisation de la bande laminée à froid est de préférence effectué à une épaisseur telle que la bande laminée à froid a, à ce moment, un taux d'écrouissage supérieur à 30%, mieux, supérieur à 40%. Il procure à la bande une taille de grain de ASTM 8 (diamètre moyen des grains de moins de 20 μm) ou plus fin, de préférence ASTM 10 (diamètre moyen des grains de moins de 10 μm) ou plus fin (selon la
20 norme ASTM E112, pour laquelle on rappelle que le chiffre donnant la taille de grain est d'autant plus élevé que le grain est fin).

Le traitement de recuit destiné à obtenir un grain fin est réalisé sous atmosphère protectrice en ajustant convenablement les paramètres de température et de durée. Ces paramètres dépendent des conditions particulières de réalisation du traitement thermique,
25 et l'homme du métier sait déterminer ces paramètres dans chaque cas particulier.

Les exigences préférentielles sur la taille des grains des produits laminés à froid, éventuellement traités thermiquement, sont d'ailleurs aussi, préférentiellement, valables sur les produits destinés à être utilisés à l'état laminé à chaud, éventuellement après avoir été traités thermiquement.

30 Afin d'améliorer la planéité de la bande, et, si nécessaire, de parfaire la transformation martensitique, la bande peut en outre être soumise à un laminage à froid final léger (skin-pass ou planage) avec un taux de réduction compris entre 1 et 10%.

Typiquement, les traitements de durcissement (vieillissement) de la bande laminée à froid sont de préférence effectués à une épaisseur telle que la bande laminée
35 a, à ce moment, un taux d'écrouissage supérieur à 30%, mieux, supérieur à 40%.

On peut alors découper dans la bande une pièce, et mettre en forme cette pièce, par exemple par pliage, soudage..., puis effectuer sur celle-ci un traitement de durcissement, consistant en un maintien entre 400 et 600°C pendant 30 min à 5 h. (de préférence de préférence à 420-550°C pendant 30 min à 2 h, par exemple 420°C pendant 30min ou 480°C pendant 2h)

5

Les produits laminés à chaud sont également susceptibles de subir un traitement de durcissement, typique des aciers maraging, avec les bénéfices classiquement attendus d'un tel traitement sur leurs propriétés mécaniques.

Les produits laminés à froid, et éventuellement traités thermiquement, selon l'invention ont une résistance à la traction R_m d'au moins 2270 MPa, une limite élastique conventionnelle $R_{p0,2}$ d'au moins 2250 MPa, et un allongement réparti A_r d'au moins 2%.

10

Ces caractéristiques peuvent d'ailleurs aussi, optimalement, être atteintes sur des produits laminés à chaud traités thermiquement de façon adéquate, par exemple s'ils ont subi une recristallisation importante lors de la mise en forme à chaud ou lors d'un traitement postérieur ayant conduit à une telle recristallisation.

15

Les produits peuvent ensuite être durcis en surface (par nitruration, cémentation, carbonituration, grenailage...) afin d'accroître leurs performances en fatigue. Typiquement, à sollicitation équivalente, les produits ainsi obtenus peuvent avoir des durées de vie en fatigue supérieures de 10 000 à 50 000 cycles à celles des nuances habituelles, ou, pour une durée de vie égale, supporter une contrainte accrue de plus de 50 MPa. La dureté en extrême surface $Hv_{0,1}$ peut être typiquement d'au moins 1050 sans que des procédés et des conditions de nitruration autres que des procédés et conditions standard soient nécessaires.

20

Des expériences ont été menées sur six échantillons d'un acier conforme à l'invention et sur des échantillons de référence, dont les compositions sont résumées dans le tableau 1, exprimées en % pondéraux, ou en ppm pour certains éléments. Le reste est du fer et des impuretés résultant de l'élaboration et qui sont à un niveau sans importance pour les propriétés considérées.

25

30

Ech.	Ni	Mo	Co	Al	Ti	N (ppm)	Si	Mn	C	S	P	B	H ₂ (ppm)	O (ppm)
Inv. 1	18,20	7,00	17,68	0,083	0,007	19	0,040	0,077	0,002	0,0006	0,0023	0,0005	0,2	5
Inv. 2	18,14	4,96	19,82	0,04	<0,005	28	0,050	0,088	0,003	0,0002	0,0029	<0,0002	<0,2	21
Inv.3	18,24	7,07	15,78	<0,005	0,007	34	0,049	0,088	0,003	<0,0002	0,0030	0,0004	<0,2	6
Inv.4	18,12	6,96	16,05	0,026	0,007	18	0,040	0,195	0,002	0,0003	0,0024	0,0002	<0,2	5
Inv.5	18,15	6,96	20,02	0,018	0,007	24	0,050	0,100	0,003	0,0005	0,0030	0,0003	<0,2	7

Inv.6	18,24	5,21	18,14	0,030	0,007	22	0,070	0,120	0,002	0,0004	0,0021	0,0004	<0,2	6
Inv.7	18,3	4,98	20,12	0,02	< 0,005	15	0,08	0,600	0,002	0,0003	0,0027	0,0002	<0,2	7
Réf. 1	18,18	5,30	16,41	0,023	<0.005	8	0,068	0,071	0,007	0,0004	0,0022	<0,0002	<0,2	< 5
Réf. 2	18,33	4.98	8.99	0.116	0.473	< 5	0.047	<0.005	0.006	0.0004	0.0030	<0.0002	<0,2	<5

Ech	Cr	Cu	W	Zr	Ca	Mg	Nb	V	Ta	Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C	Co + Mo	Ni + Co + Mo	Fe
Inv. 1	0,055	0,056	traces	<0.002	0,0010	traces	traces	traces	traces	24,91	24,68	42,88	reste
Inv. 2	0,063	0,069	traces	<0,002	0,0011	traces	traces	traces	traces	25,05	24,78	42,92	reste
Inv. 3	0,069	0,063	traces	<0,002	0,0011	traces	traces	traces	traces	23,12	22,85	41,09	reste
Inv.4	0,030	0,056	traces	<0.002	0,0010	traces	traces	traces	traces	23,3	23,01	41,13	reste
Inv.5	0,040	0,056	traces	<0,002	0,0010	traces	traces	traces	traces	27,2	26,98	45,13	reste
Inv.6	0,050	0,056	traces	<0,002	0,0010	traces	traces	traces	traces	23,6	23,35	41,59	reste
Inv.7	0,050	0,056	traces	<0,002	0,0010	traces	traces	traces	traces	25,9	25,10	43,4	reste
Ref. 1	0,067	0,065	traces	<0,002	<0,0005	traces	traces	traces	traces	21,92	21,71	39,89	reste
Réf. 2	0,065	0,005	traces	<0.002	0.0006	traces	traces	traces	traces	14,10	13,97	32,3	reste

Tableau 1 : Compositions des échantillons testés

- 5 Les élaborations des aciers selon l'invention et des aciers de référence, sur lesquels ont été prélevés les échantillons du tableau 1, ont été réalisées selon le schéma suivant, de façon à obtenir des bandes d'épaisseur 0,4 mm.
- Pour Ref.1 et 2 et pour Inv.1, 5 et 7, on a élaboré l'acier en poche, puis appliqué les procédés VIM, puis VAR.
- 10 Pour Inv.2, 3, 4 et 6, on a élaboré l'acier en poche, puis appliqué le procédé VIM, puis le procédé ESR.
- Puis les lingots VAR ou ESR ont été transformés en brames, par blooming avec une réduction d'épaisseur portant cette épaisseur à entre 200 et 100 mm (typiquement 160 mm).
- 15 Puis les brames ont été laminées à chaud jusqu'à l'épaisseur 3.5 mm, après un réchauffage à environ 1300°C. Le métal a ensuite été décapé, et a été laminé à froid jusqu'à une épaisseur de 0.4 mm. Le recuit d'austénitisation ou de mise en solution, le recuit de recristallisation et le recuit de vieillissement ont été effectués respectivement entre 800 et 1000°C pendant 15 à 60 min, puis entre 350 et 600°C pendant 30min à 20 240min, et entre 420 et 510°C pendant 30 à 90 min.

Le tableau 2 présente les densités inclusionnaires de chaque échantillon du tableau 1, à l'issue du laminage à chaud. Elles ont été évaluées tout d'abord selon la norme DIN 50602-M, puis affinées en comptage par analyse d'images en microscopie optique sur des aires de 650 mm² d'échantillons des bandes laminées à chaud de 3,5 mm d'épaisseur. Puis ces densités ont été ramenées à une surface de 100 mm² d'échantillon. Il doit être entendu que par « diamètre » des inclusions, on veut dire « diamètre équivalent », c'est-à-dire celui d'une inclusion qui serait de section circulaire et aurait la même surface que l'inclusion observée, si celle-ci a une section plus complexe que celle d'un simple cercle. De plus l'analyse d'image optique ne distinguant que des contrastes colorés et ne différenciant pas la composition des inclusions, les inclusions appelées « TiN », dans le tableau ci-dessous, sont les inclusions de contraste coloré orange par expérience de l'homme de métier (ce qui peut être vérifié à posteriori en microscopie électronique à balayage). Les inclusions notées « oxydes » sont les inclusions de contrastes gris en microscopie optique (ces inclusions sont effectivement des oxydes, voire, en moindres proportions, des sulfures, ou des inclusions mixtes oxydes-sulfures). Ces analyses sont usuelles pour l'homme de métier et complétées, dans le cas présent, par des analyses en Microscopie électronique à balayage automatisée.

Ech	Inclusions de TiN > 10 µm	Inclusions de TiN de 5 à 10 µm	Inclusions d'oxydes > 10 µm	Inclusions d'oxydes de 5 à 10 µm
Inv.1	0,0	0,0	0,0	3,1
Inv.2	0,0	0,0	0,0	2,3
Inv.3	0,0	0,0	0,0	1,6
Inv.4	0,0	0,0	0,0	1,9
Inv.5	0,0	0,0	0,0	3,6
Inv.6	0,0	0,0	0,0	2,1
Inv.7	0,0	0,0	0,0	1,7
Ref.1	0,0	0,0	0,0	8,9
Ref.2	0,8	40,8	Non mesuré	Non mesuré

Tableau 2 : Densités inclusionnaires des divers échantillons laminés à chaud testés, ramenées à une densité de particules pour 100 mm²

Ces résultats montrent que dans la cas des échantillons selon l'invention, on a des densités inclusionnaires faibles et une absence complète d'inclusions de taille relativement importante, à savoir supérieure à 10 µm. De telles grosses inclusions sont

également absentes de l'échantillon de référence 1, mais le nombre de petites inclusions d'oxydes (5 à 10 μm de diamètre) est significativement plus élevé que dans le cas des échantillons selon l'invention, ce qui est défavorable aux propriétés mécaniques et ne correspond pas à la densité inclusionnaire optimale visée. Quant à l'échantillon de référence 2, il comporte une densité de nitrures trop élevée, y compris de nitrures de taille supérieure à 10 μm . Cette caractéristique est, à elle seule, rédhibitoire pour atteindre l'objectif recherché d'une excellente tenue en fatigue, et il n'a pas été jugé utile de s'intéresser aux oxydes de cet échantillon.

Le tableau 3 montre la taille maximale des inclusions observées sur des surfaces de 650 mm^2 des échantillons précédents laminés à chaud.

Ech	Taille de l'inclusion la plus grosse (μm)	Nature de l'inclusion la plus grosse
Inv.1	6.18	oxyde
Inv.2	6.12	oxyde
Inv.3	5.71	oxyde
Inv.4	6,54	oxyde
Inv.5	7,32	oxyde
Inv.6	6,12	oxyde
Inv.7	8,78	oxyde
Ref.1	7.76	oxyde
Ref.2	10.60	TiN

Tableau 3 : Taille maximale des inclusions observées sur prélèvements de 650 mm^2 des divers échantillons laminés à chaud testés

15

Les échantillons selon l'invention ne comportent donc que des inclusions de faible diamètre, et en très faible nombre. En particulier il n'y a aucun nitrure de Ti, ce qui est à relier notamment à l'absence de Ti et à la très faible teneur en N. L'échantillon de référence 1 est dans le même cas, quoique la densité inclusionnaire et le diamètre de ses inclusions les plus grosses soient un peu plus élevés que dans le cas de l'invention. Quant à l'échantillon de référence 2, il se confirme que les nitrures (de Ti principalement) y sont prépondérants et présents sous forme d'inclusions peu ductiles et de taille souvent excessive pour que les objectifs d'une excellente tenue en fatigue puissent être tenus.

Des observations en microscopie optique et électronique ont aussi montré que la présence d'inclusions de toutes sortes de diamètre équivalent de moins de 5 μm était faible, particulièrement pour l'échantillon Inv.3 qui est aussi celui qui contient le moins d'oxydes de 5-10 μm .

25

L'homme du métier sait que la transformation à froid n'affectera la taille des inclusions qu'à la baisse en les fractionnant éventuellement, mais ne peut en aucun cas accroître ces proportions.

Enfin, les populations inclusionnaires ont été plus précisément caractérisées par comptage et analyse automatisées en microscopie électronique à balayage avec canon à émission de champ (MEB FEG) sur des surfaces de 200 à 2 mm² (par des grossissements respectifs de x300, x1000, x10 000), et leurs densités surfaciques évaluées.

Les nuances selon l'invention, de même que la nuance de référence 1, présentent l'avantage, de par leur composition chimique intrinsèque, de ne pas former de nitrures lors des élaborations, et de permettre de contrôler la taille et la nature des inclusions résiduelles, notamment d'oxydes. Grâce à un contrôle soigné des matières premières utilisées et aux procédés d'élaboration mis en œuvre, qui procurent de basses teneurs en éléments résiduels N, S et P, et grâce à une désoxydation du métal liquide, les particules d'oxydes formées sont de tailles limitées, inférieures à 10 µm, de préférence inférieures à 8 µm, et de compositions adéquates obtenues par les gammes d'élaboration décrites. On forme de façon privilégiée des oxydes à base d'aluminium, par exemple des oxydes mixtes d'Al et de Mg (cet élément provenant inévitablement des laitiers et des réfractaires des récipients d'élaboration), et aussi, éventuellement, de l'alumine en proportion variable.

La proportion en fraction volumique de ces familles d'oxydes à base d'aluminium ou en contenant significativement est supérieure à 30%, sachant que :

- les oxydes de type alumine pure se distinguent par des teneurs en Al supérieures à 35% et en O inférieure à 65% (teneurs mesurées par spectroscopie à dispersion d'énergie EDX) ;
- les oxydes contenant du magnésium se distinguent en analyse par EDX par la présence de Mg à plus de 1.5%, d'Al à plus de 10% et d'O à plus de 60%, cette dernière famille pouvant contenir des proportions moindres de Ca et/ou de Si, ou être associée à des sulfures de petites tailles.

Les propriétés mécaniques importantes des divers échantillons (sauf les propriétés en fatigue, qui seront vues plus loin) sont résumées dans les tableaux 4, 5 et 6, le tableau 4 concernant les échantillons au stade laminé à chaud, le tableau 5 concernant les échantillons à l'état laminé à froid, avant le recuit de vieillissement provoquant le durcissement par précipitation, et le tableau 6 correspondant à l'état laminé à froid et vieilli. Les propriétés ont été mesurées à la fois dans le sens longitudinal par rapport à la

direction de laminage de la bande et selon le sens travers, perpendiculaire à ladite direction de laminage. Ces propriétés sont le module d'Young E (pour les échantillons laminés à chaud), la dureté Vickers HV 1 (pour les échantillons laminés à froid, non vieillis et vieillis), la limite élastique conventionnelle $R_{p0,2}$ (exprimée en MPa), la résistance mécanique maximale en traction Rm (exprimée en MPa), l'allongement à la rupture A, l'allongement réparti Ar (exprimé en % et mesuré à partir d'éprouvettes de longueur L_0 égale à 5,65 fois la racine carrée de la section initiale S_0) et l'allongement total At.

Ech.		E (MPa)	$R_{p0,2}$ (MPa)	Rm (MPa)	Ar (%)	At (%)
Inv.1	Sens long	174 285	871	1046	2,5	22,0
	Sens travers	163 614	838	1051	3,1	22,6
Inv.2	Sens long	176 466	868	1013	2,0	20,2
	Sens travers	172 838	860	1018	2,0	20,7
Inv.3	Sens long	157 539	843	1048	3,7	22,5
	Sens travers	131 607	751	1046	3,2	18,8
Inv.4	Sens long	149 278	837	1047	3,5	20,6
Inv.5	Sens long	174 658	862	1020	2,1	20,5
Inv.6	Sens long	166 634	841	1045	2,6	18,6
Inv.7	Sens long	177 206	870	1015	2,0	20,4
Réf.1	Sens long	173 863	783	1051	1,9	14,6
	Sens travers	167 658	757	1053	1,8	14,9

10

Tableau 4 : Propriétés mécaniques des échantillons à l'état laminé à chaud

Ech.		HV 1	$R_{p0,2}$ (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
Inv.1	Sens long	385	1358	1378	5,0
	Sens travers	394	1417	1451	3,1
Inv.2	Sens long	370	1269	1294	5,6
	Sens travers	372	1336	1368	3,3
Inv.3	Sens long	390	1348	1369	4,8
	Sens travers	392	1407	1438	3,0
Inv.4	Sens long	391	1354	1375	4,5

Inv.5	Sens long	389	1360	1382	4,8
Inv.6	Sens long	376	1260	1304	5,1
Inv.7	Sens long	374	1276	1318	4,9
Ref.1	Sens long	370	1226	1198	5,7
	Sens travers	373	1272	1284	5,2
Réf.2	Sens long	315	987	1021	11,4
	Sens travers	318	1022	1058	8,7

Tableau 5 : Propriétés mécaniques des échantillons à l'état laminé à froid

Ech		HV 1	Rp _{0,2} (MPa)	Rm (MPa)	A (%)
Inv.1	Sens long	669	2329	2353	2,7
	Sens travers	671	2349	2373	2,0
Inv.2	Sens long	663	2251	2269	2,7
	Sens travers	660	2284	2299	2,3
Inv.3	Sens long	658	2258	2277	2,0
	Sens travers	667	2309	2330	2,0
Inv.4	Sens long	660	2260	2278	2,6
Inv.5	Sens long	676	2332	2360	2,1
Inv.6	Sens long	636	2174	2204	2,8
Inv.7	Sens long	666	2276	2302	2,3
Réf.1	Sens long	621	2101	2132	2,6
	Sens travers	624	2139	2159	2,5
Réf.2	Sens long	536	1823	1850	4,9
	Sens travers	539	1845	1880	4,8

5 Tableau 6 : Propriétés mécaniques des échantillons à l'état laminé à froid et vieilli

Comme cela était prévisible, celles des propriétés mécaniques qui sont les plus importantes pour les applications privilégiées de l'invention dans le cas de produits laminés à froid sont bien plus favorables après le vieillissement qu'elles ne le sont après un simple laminage, et le vieillissement permet également de fortement atténuer les différences entre les limites élastiques, les résistances à la traction et les allongements à la rupture en sens long et en sens travers constatées sur l'état laminé à froid.

On notera aussi que l'exemple Inv.6 n'a pas, après vieillissement, une résistance à la traction et une limite élastique qui correspondraient aux buts visés à ce stade. Cela est probablement à attribuer au fait que sa teneur en Mo est relativement faible et que sa teneur en Co ne permet pas de compenser cette faiblesse pour obtenir des propriétés optimales après vieillissement. Il serait à comparer avec l'exemple Inv.2, pour lequel la teneur en Mo est aussi relativement basse, mais où la teneur en Co sensiblement plus élevée que pour Inv.6 permet d'obtenir cette compensation. L'exemple Inv.6 doit néanmoins être considéré comme relevant de l'invention, du fait que ses propriétés à l'état laminé à chaud sont conformes aux exigences de la variante correspondante de l'invention.

On a également remarqué que pour des traitements thermiques de mise en solution et vieillissement un peu différents de celui donné en exemple pour l'établissement du tableau 6, les duretés obtenues variaient relativement peu. Pour l'échantillon Inv.1 traité à 850°C pendant 30 min puis à 450°C pendant 2 h, la dureté obtenue est de 699 HV 1. Pour l'échantillon Inv.2 traité à 850°C pendant 30 min puis à 500°C pendant 1 h, la dureté obtenue est de 642 HV 1. Pour l'échantillon Inv.3 traité à 850°C pendant 30 min puis à 450°C pendant 4 h, la dureté obtenue est de 678 HV 1.

Les conditions de vieillissement ont été explorées sur produits laminés à froid en vue de leur optimisation (après recuit de standardisation ou mise en solution). Un recuit de mise en solution à 850°C pendant 30 minutes sous argon a été mis en œuvre préalablement sur chaque nuance (parmi plusieurs conditions explorées entre 800° et 1000°C sous argon), permettant d'accéder à une structure austénitique et homogène. Puis différents couples (temps-température) ont été expérimentés sur ces matériaux recuits afin de préciser des conditions de vieillissement adaptées aux applications visées.

Puis selon les conditions de vieillissement explorées, sous argon entre 350° et 600°C, les optimums en termes de dureté ont été précisés.

La nuance Inv.1 préfère des conditions de vieillissement comprises entre 450° et 550°C pour des durées de 30 min à 5h, pour atteindre des duretés Hv à l'état vieilli de plus de 675. On atteint 730 Hv pour un vieillissement à 500°C pendant 1h.

La nuance Inv.2 peut atteindre des niveaux de dureté en surface supérieurs à 600 Hv pour des vieillissements à moins de 550°C, pendant des durées de 30 min à 5 h, de préférence 500°C pendant 1 h pour atteindre 630 à 640 Hv ;

La nuance Inv.3 peut atteindre des niveaux de dureté en surface supérieurs à 650 Hv pour des vieillissements à des températures de plus de 550°C pendant 30 min à 5 h.

Pour des conditions de vieillissement comprises entre 450° et 550°C pendant 30 min à 3 h, les nuances Inv.4 et Inv.5 ont accédé à des niveaux de dureté supérieurs à 650 Hv avec des durées de traitement inférieures à 2 h. A titre d'exemple, on a obtenu des duretés de 660 Hv pour Inv.4, et 676 Hv pour Inv.5, pour des traitements sous Ar à 480°C durant 3 h.

De même les nuances Inv.6 et Inv.7 présentent des duretés respectives de 636 et 666 Hv avec des conditions de vieillissement de 3 h à 480°C.

Il est notable ici que ces nuances selon l'invention sont compatibles avec des conditions de vieillissement qui autorisent des caractéristiques mécaniques accrues, mais qu'elles présentent en plus des facilités de mises en œuvre tant en termes de procédés que de coûts associés. En effet la stabilité des propriétés obtenues, notamment la dureté, permet la mise en œuvre de recuits de courtes durées (typiquement 30 minutes) pour obtenir des propriétés identiques ou comparables à celles obtenues par des traitements d'une durée de 4 à 5 h sur des nuances classiques. Ces qualités de simplicité et d'économie des traitements thermiques sont particulièrement avantageuses pour ces nuances selon l'invention.

Ces nouvelles nuances selon l'invention présentent des propriétés mécaniques (dureté, limite élastique, résistance à rupture...) accrues par rapport aux références Ref.1 et Réf.2, dans des conditions de vieillissement optimisées, qui, associées à une population inclusionnaire améliorée, permettent d'accéder à des propriétés également accrues lors de sollicitation dynamiques, en fatigue par exemple.

A ce titre des échantillons selon l'invention et l'échantillon Réf. 1 ont été testés en fatigue, à l'état vieilli non nitruré, sur un équipement hydraulique INSTRON à fréquence 25 Hz, en sollicitation à $R = 0,1$, sur des matériaux laminés à froid (d'épaisseur de moins de 5 mm) traités à 850°C pendant 30 min puis à 450°C pendant 2 h sous Ar. Ces conditions de vieillissement ne sont pas optimisées pour toutes les nuances, mais permettent de comparer les nuances entre elles dans une même condition de vieillissement). Les résultats de ces essais de fatigue sont présentés sur la figure 1. Elle montre en fonction du nombre de cycles imposé le niveau de contrainte auquel une rupture a été constatée sur les divers échantillons. On a également reporté pour chaque échantillon des résultats d'essais réalisés pour un nombre de cycles très élevé supérieur à 10 millions (trois essais pour l'échantillon Inv.2, un essai pour les autres), avec des niveaux de contrainte qui n'ont pas entraîné de rupture de l'échantillon.

Dès 50 000 cycles les exemples selon l'invention Inv.1, Inv.2 et Inv.3 supportent en endurance des contraintes supérieures à la référence 1, et à contrainte imposée,

l'endurance des exemples selon l'invention est accrue. La référence 2 n'a pas été testée, car au vu de sa teneur en nitrures il était assuré que ses essais en fatigue donneraient des résultats de moindre qualité en comparaison de ceux des autres échantillons.

5 Enfin, les propriétés améliorées de ces nuances selon l'invention ont aussi été explorées après un traitement de mise en compression de la surface. En l'occurrence, sur ces matériaux à fines épaisseur sollicités en fatigue, des traitements de nitruration sont traditionnellement mis en œuvre avant sollicitation, afin de retarder l'amorce de fissuration en surface. Cette mise en compression peut aussi être réalisée par un grenailage, de façon connue.

10 Ainsi, diverses conditions de nitruration ont été testées pour les nuances selon l'invention, parmi lesquelles des traitements compris entre 420 et 510°C de 30 à 90 min en atmosphère gazeuse (sous NH_3 ou sous une atmosphère de NH_3 craqué), ainsi que par nitruration ionique.

15 Les couches nitrurées sont constituées par la diffusion d'azote au sein des diverses matrices, constituant des épaisseurs caractéristiques de quelques dizaines de μm , évaluées par attaque chimique ou profil par spectrométrie à décharge lumineuse (SDL). Elles contiennent parfois des précipités fins uniformément distribués, dont on peut éventuellement, si utile, ajuster la nature chimique en jouant sur la composition de l'acier et les conditions de nitruration.

20 Dans la gamme de températures et de durées explorée, les nuances selon l'invention révèlent des propriétés de surface accrues après nitruration, si on les compare aux références 1 et 2. Le tableau 7 illustre à titre d'exemple des niveaux de dureté évalués par micro indentation selon des modalités identiques. Trois cas de traitements de nitruration ont été testés, en plus des conditions variables de durée et de température :

- 25
- Nitruration gazeuse sous NH_3 (essais NG1) ;
 - Nitruration gazeuse sous NH_3 craqué (essais NG2) ;
 - Nitruration ionique (essais NI).

Nituration	Réf.2			Ref.1			Inv. 1			Inv.2			Inv.3			Inv.4	Inv.5	Inv.6	Inv.7
	NG1	NG2	NI	NG1	NG2	NI	NG1	NG2	NI	NG1	NG2	NI	NG1	NG2	NI				
420°C, 30 min	820	775	610	880	660	820	900	860	850	940	1008	1020	790	860	820	900	1010	710	1015
420°C, 60 min	650		840	780		910	1000		900	840		925	1320		1000				
420°C, 90 min	820		685	685		900	860	1070	810	810	1040	1020	1105						
450°C, 30 min	995	922,5	785	720	625	1030	900	870	970	790	875	865	950	995	950	1002	980	650	940
450°C, 60 min	765		840	745		980	805		1055	910		920	555		1085				
450°C, 90 min	940		750	800		980	725		970	810		880	620		855				
480°C, 30 min	1105	900	660	780	887	985	940	890	1095	825	940	860	740	943	880	985	945	880	960
480°C, 60 min	1125		900	1050		740	820		930	815		800	940		660				
480°C, 90 min	950		940	870		840	780		1100	700		920	960		910				
510°C, 30 min	855	680	945	700	900	840	750	848	985	720	773	1065	780	933	995	940	850	800	850
510°C, 60 min	690		870	965		760	770		730	815		880	820		820				
510°C, 90 min	830		850	690		890	590		750	590		790	760		775				

Tableau 7 : Duretés Hv0.1 évaluées par micro indentation en extrême surface selon différentes conditions de nituration.

Il doit être entendu que les incertitudes de mesure sur ce type d'essais sont importantes lorsque que, comme c'est le cas ici, les essais sont réalisés sur des échantillons à surfaces brutes et empreintes locales. Il faut donc interpréter les résultats du tableau 7 en termes de tendance générale.

Ainsi, en plus d'avoir une matrice performante en fatigue, les échantillons selon l'invention présentent notamment une meilleure résistance mécanique en surface et une résistance accrue aux frottements, grâce à un accroissement de la dureté de surface après nitruration par rapport aux échantillons de référence 1 et 2. Ainsi, des gains de plus de 50 Hv0.1 par rapport aux références 1 et 2 peuvent être aisément escomptés, pour des durées de nitruration réduites. On peut ainsi atteindre des duretés d'extrême surface de plus de 1050 Hv0.1 sur les nuances selon l'invention, dans des conditions de nitruration adéquates et qui ne sont pas particulièrement exigeantes.

Les valeurs minimales et maximales de dureté atteintes en extrême surface selon les différentes conditions de nitruration pour les échantillons Réf.1 et 2 et Inv.1 à 3 sont reportées dans la figure 3.

Enfin, on a vérifié que ces duretés importantes accessibles en surface s'accompagnent de la présence de contraintes résiduelles (évaluées par diffraction des rayons X) qui permettent de mettre la surface en compression par rapport à la matrice et retarder ainsi l'amorce de fissuration en surface.

La figure 2 est une évaluation qualitative des contraintes résiduelles de compression en surface des tôles laminées nitrurées, pour les échantillons Réf.1, Réf.2, Inv.1, Inv.2 et Inv.3. Pour chaque échantillon on a porté les valeurs minimales et maximales des contraintes de compression évaluées pour l'ensemble des essais effectués en faisant varier les procédés, les températures et les durées de nitruration. L'évaluation des contraintes résiduelles au sein des couches nitrurées a été réalisée en surface des échantillons avec les paramètres suivants : Chi variant de 0 à 51 °, intervalle de mesure 1s, \sin^2 (psi) de 0 à 0.6 par pas de 0.1. Les valeurs obtenues dans ces conditions permettent de déterminer en suivant l'évolution de la position de la raie du Fe le niveau de contrainte en surface du matériau. On voit que les contraintes résiduelles des échantillons selon l'invention ne sont pas dégradées de manière significative par rapport à celles observées sur les échantillons de référence.

Il est aussi plus aisé, par l'utilisation de l'invention, de maîtriser la composition de la couche nitrurée et, donc, de l'adapter aux besoins particuliers de l'utilisation envisagée pour les futurs produits. Si cela paraît préférable, on peut ainsi aisément éviter la

présence en extrême surface de phases communément appelées « couches de combinaison » au sein des couches nitrurées. Ces phases résultent de la précipitation de nitrures de fer de types Fe_4N , Fe_2N , Fe_2N_{1-x} ...

De manière générale, les aciers selon l'invention présentent dans différentes conditions de nitruration des performances d'usage et économiques accrues par rapport aux aciers de référence relevant de l'art antérieur, dans la mesure où la couche de nitruration est plus aisément contrôlable :

- pour sa composition, en particulier concernant l'existence ou non de couches de combinaison ;
- pour son épaisseur ;
- pour les niveaux de dureté accessibles dans des conditions de nitruration données ;
- pour la distribution dans l'épaisseur de la couche des teneurs en azote, des phases précipitées, de leur nature et de leur répartition, ainsi que des niveaux de dureté, des contraintes résiduelles ;
- pour la facilité et l'économie des conditions de mise en œuvre industrielle de la nitruration, à propriétés obtenues égales par rapport aux nuances de référence, que la nitruration s'effectue par plasma ou, surtout, par voie gazeuse.

Des applications privilégiées de l'invention sont, notamment :

- pour des produits issus de demi-produits laminés à chaud ou mis en forme à chaud, des arbres de turbine ou des pièces de transmission en général ;
- pour des produits issus de tôles ou bandes laminées à froid, des éléments de courroies de transmission de véhicules ou de machines tournantes telles que des machines-outils, en particulier de courroies pour transmissions automatiques de véhicules automobiles de type CVT.

REVENDICATIONS

- 1.- Un acier ayant une composition, en pourcentages pondéraux, de :
- 5 - 10,0% ≤ Ni ≤ 24,5% ;
 - 1,0% ≤ Mo ≤ 12,0% ;
 - 1,0% ≤ Co ≤ 25,0% ;
 - 20,0% ≤ Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C ≤ 29,0% ;
 - Co + Mo ≥ 20,0% ;
- 10 - Ni + Co + Mo ≥ 29% ;
 - traces ≤ Al ≤ 4,0% ,
 - traces ≤ Ti ≤ 0,1% ;
 - traces ≤ N ≤ 0,0050% ;
 - traces ≤ Si ≤ 2,0% ;
- 15 - traces ≤ Mn ≤ 4,0% ;
 - traces ≤ C ≤ 0,03% ;
 - traces ≤ S ≤ 0,0020% ,
 - traces ≤ P ≤ 0,005% ;
 - traces ≤ B ≤ 0,01% ;
- 20 - traces ≤ H ≤ 0,0005% ;
 - traces ≤ O ≤ 0,0025% ;
 - traces ≤ Cr ≤ 5,0% ;
 - traces ≤ Cu ≤ 2,0% ;
 - traces ≤ W ≤ 4,0% ;
- 25 - traces ≤ Zr ≤ 4,0% ;
 - traces ≤ Ca ≤ 0,1% ;
 - traces ≤ Mg ≤ 0,1% ;
 - traces ≤ Nb ≤ 4,0% ;
 - traces ≤ V ≤ 4,0% ;
- 30 - traces ≤ Ta ≤ 4,0% ;
 le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;
 et dans lequel une population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur
 une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud
 ou d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm² si l'acier est sous forme d'une tôle laminée
 35 à froid, est exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10

μm , et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, comporte au plus quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 μm sur 100 mm^2 , l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm^2 .

- 2.- L'acier selon la revendication 1, dans lequel $12,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$.
- 5 3.- L'acier selon la revendication 2, dans lequel $18,0\% \leq \text{Ni} + \text{Mo} \leq 27,0\%$.
- 4.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, dans lequel $2,5\% \leq \text{Mo} \leq 9,0\%$.
- 5.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 4, dans lequel $22,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$.
- 10 6.- L'acier selon la revendication 5, dans lequel $22,5\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$.
- 7.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, dans lequel $\text{Co} + \text{Mo} \geq 21,0\%$.
- 8.- L'acier selon la revendication 7, dans lequel $\text{Co} + \text{Mo} \geq 22,0\%$.
- 15 9.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 41,0\%$.
- 10.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 9, dans lequel $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$.
- 11.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 10, dans lequel $0,04\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$.
- 20 12.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 11, dans lequel traces $\leq \text{S} \leq 0,0010\%$.
- 13.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 12, dans lequel la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm^2 si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm^2 si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, est exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 8 μm .
- 25 14.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel Cr n'est présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.
- 30 15.- L'acier selon l'une quelconque des revendications 1 à 13, dans lequel traces $\leq \text{Cr} < 0,10\%$.
- 16.- Un procédé d'élaboration d'un produit en acier, dans lequel :
- on prépare une électrode de refusion en un acier dont la composition est conforme à l'une quelconque des revendications 1 à 15 ;

- on exécute une refusion de cette électrode par un procédé à simple ou multiple refusion pour obtenir une électrode refondue ;

- on exécute au moins une transformation à chaud de l'électrode refondue, à une température comprise entre 1050 et 1300°C, pour obtenir une tôle transformée à chaud ou une bande transformée à chaud ;

- et optionnellement on exécute un traitement thermique sur la dite tôle transformée à chaud ou ladite bande transformée à chaud,

ladite tôle ou bande transformée à chaud, éventuellement traitée thermiquement présentant une population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 µm, et comportant au plus quatre inclusions non-métalliques de diamètre équivalent de 5 à 10 µm sur 100 mm².

17.- Le procédé selon la revendication 16, dans lequel ladite tôle ou bande transformée à chaud, éventuellement traitée thermiquement, a une résistance à la traction supérieure ou égale à 1010 MPa, un module d'Young supérieur ou égal à 130 GPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.

18.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 16 et 17, dans lequel ladite tôle transformée à chaud ou ladite bande transformée à chaud et éventuellement traitée thermiquement est ensuite laminée à froid en une ou plusieurs passes pour obtenir une tôle ou une bande ayant une épaisseur inférieure ou égale à 2 mm.

19.- Le procédé selon la revendication 18, dans lequel ladite tôle transformée à chaud ou ladite bande transformée à chaud et éventuellement traitée thermiquement est ensuite laminée à froid en une ou plusieurs passes pour obtenir une tôle ou une bande ayant une épaisseur inférieure ou égale à 1 mm.

20.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 18 ou 19, dans lequel la tôle ou la bande subit au moins un traitement thermique entre deux passes de laminage à froid et/ou après la dernière passe de laminage à froid.

21.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 18 à 20, dans lequel le taux de laminage à froid cumulé des diverses passes est d'au moins 30%.

22.- Le procédé selon l'une quelconque des revendication 18 à 20, dans lequel le taux de laminage à froid cumulé des diverses passes est d'au moins 40%.

23.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 22, dans lequel ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid et éventuellement traitée thermiquement a une résistance à la traction supérieure ou égale à 2270 MPa, une limite élastique

conventionnelle supérieure ou égale à 2250 MPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.

24.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 23, dans lequel ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid et éventuellement traitée thermiquement est découpée, et ensuite éventuellement mise en forme.

25.- Le procédé selon la revendication 24, dans lequel ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid éventuellement traitée thermiquement, découpée et, éventuellement, mise en forme, subit un traitement de durcissement entre 420 et 550°C pendant 30 min à 2 h.

26.- Le procédé selon la revendication 25, dans lequel ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid éventuellement traitée thermiquement, découpée et, éventuellement, mise en forme, subit un traitement de durcissement à 450-550°C pendant 1 à 2 h.

27.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 25 ou 26, dans lequel ladite tôle ou bande laminée à chaud ou à froid, et éventuellement traitée thermiquement, découpée et, éventuellement, mise en forme, subit, après son durcissement, un traitement superficiel pour l'amélioration de sa résistance aux sollicitations dynamiques.

28.- Le procédé selon la revendication 27, dans lequel ledit traitement superficiel est une cémentation, ou une nitruration gazeuse, ou une nitruration ionique, ou une carbonituration, ou un grenailage.

29.- Le procédé selon l'une quelconque des revendications 16 à 28, dans lequel la taille de grain de la tôle ou bande laminée à chaud éventuellement traitée thermiquement, ou de la tôle ou bande laminée à froid éventuellement traitée thermiquement, est de 8 ASTM ou plus fin.

30.- Le procédé selon la revendication 29, dans lequel la taille de grain de la tôle ou bande laminée à chaud éventuellement traitée thermiquement, ou de la tôle ou bande laminée à froid éventuellement traitée thermiquement, est de 10 ASTM ou plus fin.

31.- Un produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement, ayant une composition, en pourcentages pondéraux, de :

- $10,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$;
- $1,0\% \leq \text{Mo} \leq 12,0\%$;
- $1,0\% \leq \text{Co} \leq 25,0\%$;
- $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$;
- $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$;

- Ni + Co + Mo \geq 29% ;
- traces \leq Al \leq 4,0% ,
- traces \leq Ti \leq 0,1% ;
- traces \leq N \leq 0,0050% ;
- 5 - traces \leq Si \leq 2,0% ;
- traces \leq Mn \leq 4,0% ;
- traces \leq C \leq 0,03% ;
- traces \leq S \leq 0,0020% ,
- traces \leq P \leq 0,005% ;
- 10 - traces \leq B \leq 0,01% ;
- traces \leq H \leq 0,0005% ;
- traces \leq O \leq 0,0025% ;
- traces \leq Cr \leq 5,0% ;
- traces \leq Cu \leq 2,0% ;
- 15 - traces \leq W \leq 4,0% ;
- traces \leq Zr \leq 4,0% ;
- traces \leq Ca \leq 0,1% ;
- traces \leq Mg \leq 0,1% ;
- traces \leq Nb \leq 4,0% ;
- 20 - traces \leq V \leq 4,0% ;
- traces \leq Ta \leq 4,0% ;

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

et dans lequel une population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm² si l'acier est sous forme sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, est exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 μ m, et, dans le cas d'une tôle laminée à chaud, comporte quatre inclusions non-métalliques ou moins de diamètre équivalent de 5 à 10 μ m sur 100 mm², l'observation étant réalisée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm².

30 32.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon la revendication 31, dans lequel 12,0% \leq Ni \leq 24,5%.

35 33.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon la revendication 32, dans lequel 18,0% \leq Ni + Mo \leq 27,0%.

34.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon la revendication 33, dans lequel $2,5\% \leq \text{Mo} \leq 9,0\%$.

5 35.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 34, dans lequel $22,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$.

36.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon la revendication 35, dans lequel $22,5\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$.

10 37.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 36, dans lequel $\text{Co} + \text{Mo} \geq 21,0\%$.

15 38.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon la revendication 37, dans lequel $\text{Co} + \text{Mo} \geq 22,0\%$.

39.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 38, dans lequel $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 41,0\%$.

20 40.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 39, dans lequel $0,01\% \leq \text{Al} \leq 1,0\%$.

41.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 40, dans lequel $0,04\% \leq \text{Si} \leq 2,0\%$.

25 42.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 41, dans lequel $\text{traces} \leq \text{S} \leq 0,0010\%$.

30 43.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 42, dans lequel la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 650 mm^2 si l'acier est sous forme d'une pièce transformée à chaud ou d'une tôle laminée à chaud, et de 800 mm^2 si l'acier est sous forme d'une tôle laminée à froid, est exempt d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à $8 \mu\text{m}$.

44.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 43, dans lequel Cr n'est présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.

5 45.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 32 à 43, dans lequel $\text{traces} \leq \text{Cr} < 0,10\%$.

10 46.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud selon l'une quelconque des revendications 32 à 45 et ayant été éventuellement traité thermiquement, ayant une résistance à la traction supérieure ou égale à 1010 MPa, un module d'Young supérieur ou égal à 130 GPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.

47.- Une tôle ou bande laminée à froid, en acier, ayant une composition, en pourcentages pondéraux, de :

- $10,0\% \leq \text{Ni} \leq 24,5\%$;
- $1,0\% \leq \text{Mo} \leq 12,0\%$;
- 15 - $1,0\% \leq \text{Co} \leq 25,0\%$;
- $20,0\% \leq \text{Mo} + \text{Co} + \text{Si} + \text{Mn} + \text{Cu} + \text{W} + \text{V} + \text{Nb} + \text{Zr} + \text{Ta} + \text{Cr} + \text{C} \leq 29,0\%$;
- $\text{Co} + \text{Mo} \geq 20,0\%$;
- $\text{Ni} + \text{Co} + \text{Mo} \geq 29\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Al} \leq 4,0\%$,
- 20 - $\text{traces} \leq \text{Ti} \leq 0,1\%$;
- $\text{traces} \leq \text{N} \leq 0,0050\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Si} \leq 2,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Mn} \leq 4,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{C} \leq 0,03\%$;
- 25 - $\text{traces} \leq \text{S} \leq 0,0020\%$,
- $\text{traces} \leq \text{P} \leq 0,005\%$;
- $\text{traces} \leq \text{B} \leq 0,01\%$;
- $\text{traces} \leq \text{H} \leq 0,0005\%$;
- $\text{traces} \leq \text{O} \leq 0,0025\%$;
- 30 - $\text{traces} \leq \text{Cr} \leq 5,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Cu} \leq 2,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{W} \leq 4,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Zr} \leq 4,0\%$;
- $\text{traces} \leq \text{Ca} \leq 0,1\%$;
- 35 - $\text{traces} \leq \text{Mg} \leq 0,1\%$;

- traces \leq Nb \leq 4,0% ;

- traces \leq V \leq 4,0% ;

- traces \leq Ta \leq 4,0% ;

le reste étant du fer et des impuretés résultant de l'élaboration ;

5 et dans laquelle une population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 800 mm², est exempte d'inclusions non-métalliques de diamètre équivalent supérieur à 10 μ m.

48.- La tôle ou bande laminée à froid selon la revendication 47, dans laquelle la population inclusionnaire, observée par analyse d'image sur une surface polie de 800 mm², est exempte d'inclusion de taille supérieure à 8 μ m.

49.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 et 48, dans laquelle $12,0\% \leq$ Ni \leq 24,5%.

50.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 49, dans laquelle $18,0\% \leq$ Ni + Mo \leq 27,0%.

15 51.- La tôle ou bande laminée à froid selon la revendication 50, dans laquelle $2,5\% \leq$ Mo \leq 9,0%.

52.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 51, dans laquelle $22,0\% \leq$ Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C \leq 29,0%.

20 53.- La tôle ou bande laminée à froid selon la revendication 52, dans laquelle $22,5\% \leq$ Mo + Co + Si + Mn + Cu + W + V + Nb + Zr + Ta + Cr + C \leq 29,0%.

54.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 53, dans laquelle Co + Mo \geq 21,0%.

25 55.- La tôle ou bande laminée à froid selon la revendication 54, dans laquelle Co + Mo \geq 22,0%.

56.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 55, dans lequel Ni + Co + Mo \geq 41,0%.

57.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 56, dans laquelle $0,01\% \leq$ Al \leq 1,0%.

30 58.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 57, dans laquelle $0,04\% \leq$ Si \leq 2,0%.

59.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 58, dans laquelle traces \leq S \leq 0,0010%.

35

- 60.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 59, dans laquelle Cr n'est présent qu'à l'état de traces résultant de l'élaboration.
- 5 61.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 59, dans laquelle traces $\leq Cr < 0,10\%$.
- 62.- La tôle ou bande laminée à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 61, ayant subi au moins un traitement thermique après le laminage à froid.
- 10 63.- La tôle ou bande laminée à chaud ou à froid selon l'une quelconque des revendications 47 à 62, ayant une résistance à la traction supérieure ou égale à 2270 MPa, une limite élastique conventionnelle supérieure ou égale à 2250 MPa et un allongement réparti supérieur ou égal à 2%.
- 15 64.- Le produit en acier, issu d'une tôle ou bande laminée à chaud ou à froid selon l'une quelconque des revendications 31 à 63, éventuellement mise en forme, et ayant subi un traitement superficiel pour l'amélioration de sa résistance aux sollicitations dynamiques.
- 65.- Le produit selon la revendication 64, dans lequel ledit traitement superficiel est choisi parmi une cémentation, une nitruration gazeuse, une nitruration ionique, une carbonituration et un grenailage.
- 20 66.- Un arbre de turbine ou pièce de transmission transformée à chaud, comportant au moins un élément réalisé à partir d'un produit transformé à chaud selon l'une quelconque des revendications 31 à 46 ou 64.
- 67.- Une courroie de transmission, comportant au moins un élément réalisé à partir d'une tôle ou bande laminée à froid ou d'un produit selon l'une quelconque des revendications 47 à 65.
- 25 68.- La courroie de transmission selon la revendication 67, dans laquelle ladite courroie de transmission est une courroie de transmission de type CVT pour véhicule automobile.
- 30 69.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 31 à 46, ou tôle ou bande laminée à froid et éventuellement traitée thermiquement selon l'une quelconque des revendications 47 à 65, dans lequel la taille de grain du produit ou de la tôle ou bande est de 8 ASTM ou plus fin.
- 35 70.- Le produit en acier ayant subi une transformation à chaud et ayant été éventuellement traité thermiquement selon l'une quelconque des revendications 31 à 46, ou tôle ou bande laminée à froid et éventuellement traitée thermiquement selon l'une

quelconque des revendications 47 à 65, dans lequel la taille de grain du produit ou de la tôle ou bande est de ASTM 10 ou plus fin.

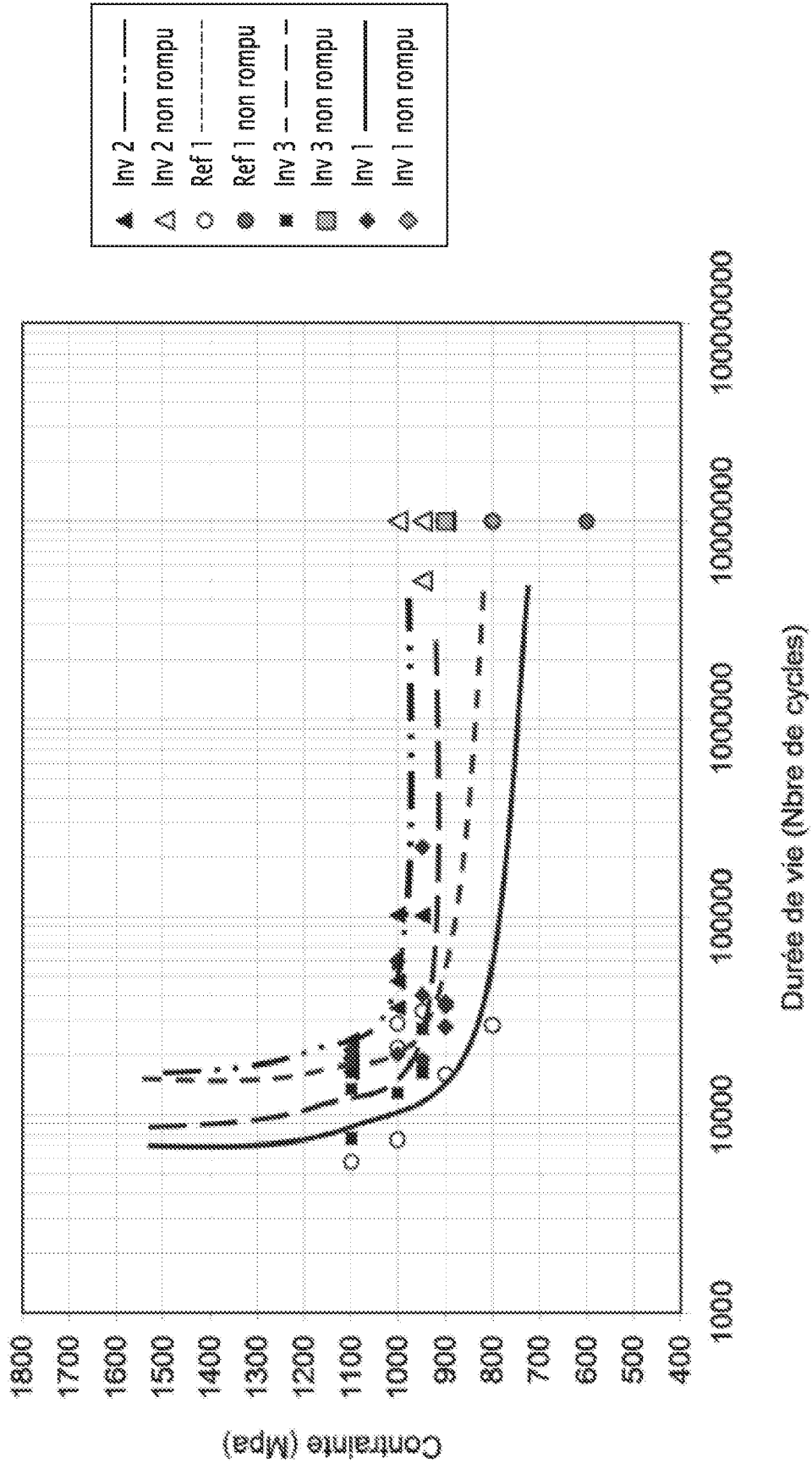


FIG.1

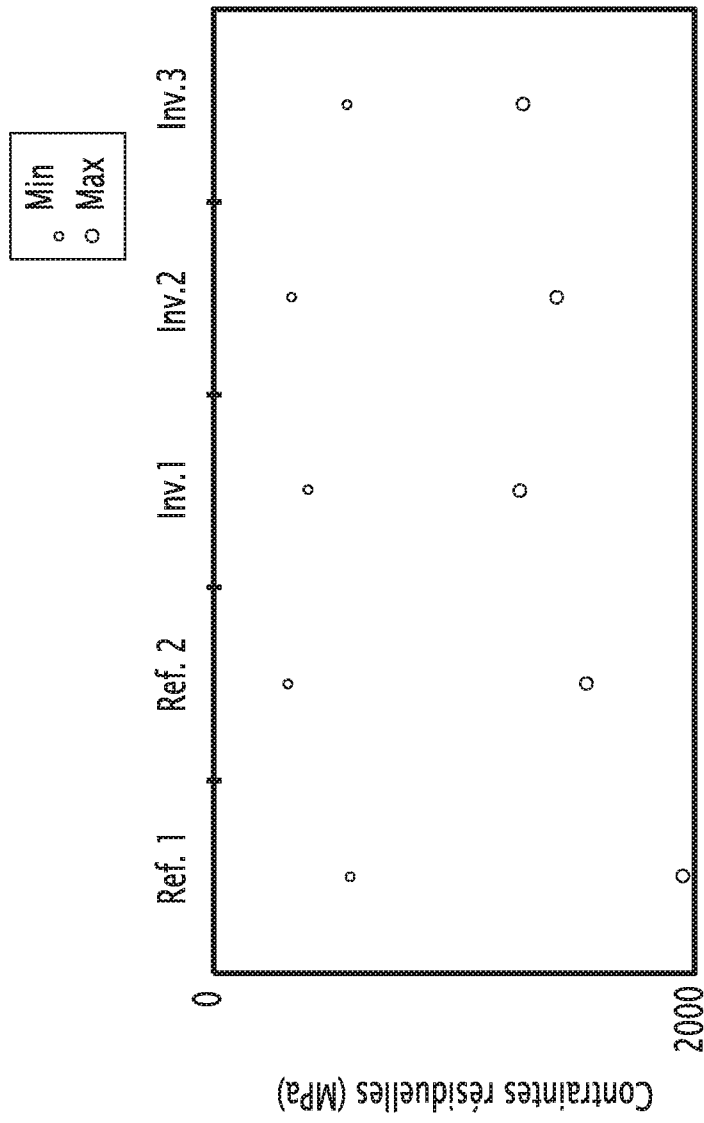


FIG.2

3/3

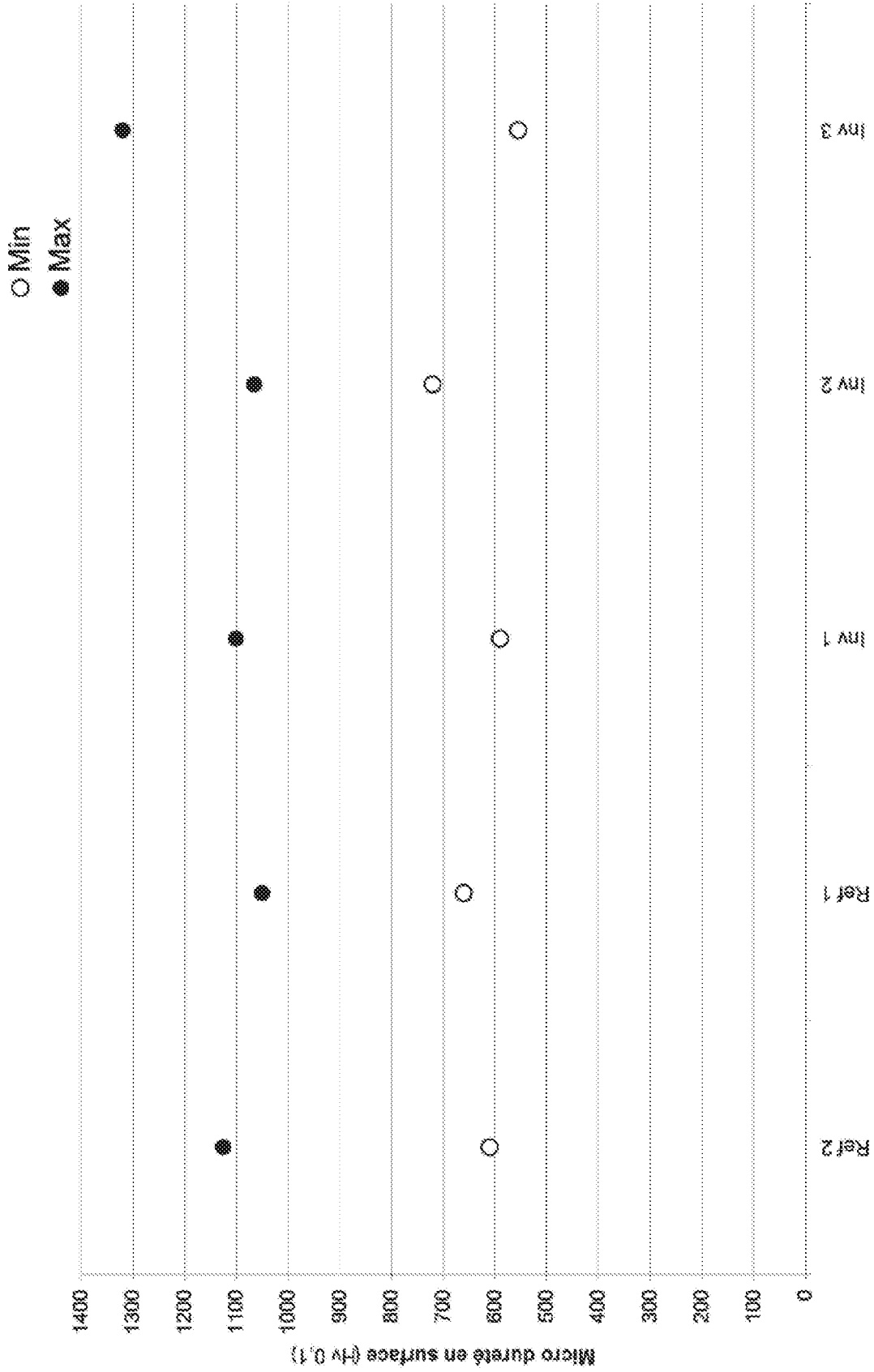


FIG. 3

