



(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) Numéro de publication:

0 401 098
A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: 90401402.4

(5) Int. Cl.⁵: C21D 8/12, C22C 38/06,
C22C 38/02

(22) Date de dépôt: 25.05.90

Le titre de l'invention a été modifié (Directives relatives à l'examen pratiqué à l'OEB, A-III, 7.3)

(30) Priorité: 01.06.89 FR 8907263

(43) Date de publication de la demande:
05.12.90 Bulletin 90/49

(84) Etats contractants désignés:
AT BE CH DE DK ES FR GB GR IT LI LU NL SE

(71) Demandeur: UGINE ACIERS DE CHATILLON
ET GUEUGNON
La Défense 9, 4 Place de la Pyramide
F-92800 Puteaux(FR)

(72) Inventeur: Brissonneau, Pierre
8, Place du St Eynard
F-38000 Grenoble(FR)
Inventeur: Quenin, Jacques
2, rue Moiron
F-38610 Gières(FR)
Inventeur: Verdun, Jean
22 Rue des Branchettes
F-48200 St Chély d'Apcher(FR)

(74) Mandataire: Lanceplaine, Jean-Claude et al
CABINET LAVOIX 2, Place d'Estienne
d'Orves
F-75441 Paris Cédex 09(FR)

(54) **Tôle d'acier magnétique laminée à chaud.**

(57) Tôle magnétique obtenue à partir d'une bande d'acier laminée à chaud, contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium et formant partie d'une famille de tôles à grains orientés, caractérisée en ce que sa composition est la suivante : silicium inférieur à 3,3%, aluminium compris entre 1,5 et 8%, en concentration pondérale, et en ce que la bande d'acier est soumise à un laminage à froid en deux étapes avec un taux de réduction final compris entre 50 et 80%, la tôle magnétique obtenue ayant une texture générale de type cubique, 40% au moins des grains ne s'écartant pas de plus de 15° de l'orientation cubique idéale (100) [001] en notation de MILLER.

EP 0 401 098 A1

La présente invention a pour objet une tôle contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium, et formant partie d'une famille de tôles à grains orientés ayant une texture de type cubique, c'est à dire une tôle possédant deux directions de facile aimantation, l'une confondue avec la direction de laminage, l'autre perpendiculaire à la direction de laminage, dans le plan de la tôle, dite direction travers.

5 On sait que les tôles magnétiques dites non orientées sont plus particulièrement destinées à la construction de circuits alimentés en courant alternatif, dont en particulier, ceux des machines tournantes de forte puissance. Pour la construction de ces machines, il importe de disposer de circuits magnétiques très performants.

10 Le stator est constitué de tôles assemblées et ces dernières ont un degré d'efficacité qui s'évalue en fonction de deux paramètres qui sont le niveau d'induction d'une part, et les pertes volumiques d'autre part.

L'induction est limitée par l'aimantation à saturation du matériau, et les pertes comprennent les pertes par hystérésis et par courants de Foucault. Aussi, il est nécessaire de trouver un compromis entre les matériaux à forte aimantation à saturation et à faibles pertes.

15 Les tôles d'acier au silicium non orientées donnent actuellement les meilleurs résultats, car l'aimantation particulièrement forte du fer n'est que peu diminuée par l'adjonction des éléments d'alliage, passant de 2,16 Tesla pour le Fer pur à 2,0 Tesla pour l'alliage à 3,2 % de silicium.

L'augmentation de la résistivité électrique due au silicium permet de diminuer les pertes.

En dehors de la nature et de la composition du matériau, au autre paramètre d'étude important est la texture. En effet, toujours dans les machines tournantes, les assemblages de tôles du stator sont répartis en 20 secteurs dont le volume se décompose en trois régions essentielles :

- les dents, dans lesquelles l'induction est orientée suivant une direction radiale,
- le dos du stator, dans lequel l'induction est orientée suivant une direction tangentielle, et
- la région médiane, dans laquelle l'induction tourne dans le plan des tôles.

25 Les tôles connues de texture GOSS (110) [001] ou à grains orientés ou encore G.O. conviennent mal à une telle utilisation, car elles ont une anisotropie marquée, et même, si la texture GOSS entraîne une amélioration très sensible des propriétés magnétiques dans la direction de laminage, son avantage disparaît très rapidement dès que l'induction s'écarte de la direction de laminage. Par propriétés magnétiques mauvaises, il faut entendre non seulement les pertes magnétiques spécifiques élevées, mais aussi le fait qu'il est nécessaire d'appliquer un champ d'excitation de grande amplitude pour approcher l'aimantation à 30 saturation dans une direction différente de la direction de laminage, ce qui peut entraîner un échauffement des bobinages par effet Joule, préjudiciable à la durée de vie de la machine.

C'est pourquoi, sauf cas exceptionnel, les tôles de texture GOSS ne sont pas utilisées par les constructeurs de machines tournantes qui leur préfèrent les tôles dites non orientées, en principe sans texture, ou avec une texture de laminage peu marquée.

35 Les tôles à grains non orientés, dénommés N.O., présentent une faible anisotropie dans le plan du laminage, car les grains sont répartis sensiblement de façon aléatoire, ce qui entraîne un comportement statistiquement isotrope. Mais l'alliage ternaire constitué par du Fer, du Silicium et de L'Aluminium par exemple, a une énergie d'anisotropie magnétocristalline importante qui tend à maintenir, à l'intérieur de chaque grain, les moments magnétiques atomiques parallèlement aux axes quaternaires du cristal. Il en résulte une répartition en domaines orientés suivant les directions de facile aimantation du type [100].

Or, les mécanismes d'aimantation les plus faciles font intervenir les déplacements de parois, dites parois de BLOCH, entre domaines voisins. Il est donc avantageux dans les tôles N.O. d'orienter préférentiellement ces domaines dans la direction de circulation du flux.

45 Les tôles d'acier au silicium non orientées sont en général classées d'après leurs pertes spécifiques $W_{15/50}$ (pertes pour une induction crête $B = 1,5$ Tesla à 50 Hertz exprimées en watts par kilogramme) et leur induction magnétique B_{5000} , en Tesla (induction magnétique induite dans un champ d'excitation de 5000 A/m). La tôle d'acier de la qualité la plus haute figurant dans la JIS (norme industrielle japonaise) C2552 (1986) est la qualité 35.A.230 (épaisseur 0,35 mm, $W_{15/50} \leq 2,30$ W/Kg et $B_{5000} \geq 1,60$ T).

On connaît par le brevet français FR-A-2 316 338, un procédé de fabrication de tôles d'acier au silicium, du type à grains non orientés, avec de faibles pertes et une forte induction magnétique.

50 Ce procédé s'applique à des tôles d'acier au silicium laminées à chaud contenant au plus 0,020% de carbone, 2,5 à 3,5% de silicium, 0,1 à 1,0% de manganèse et 0,3 à 1,5% d'Aluminium, le reste étant constitué par du fer et des impuretés accidentelles. Après un laminage à froid en au moins deux étapes, avec un recuit intermédiaire et un recuit final en continu pour obtenir l'épaisseur finale, le procédé prévoit que les teneurs en soufre et oxygène sont limitées respectivement à au plus 0,0025% et 0,005% et que le laminage à froid final a un taux de réduction compris entre 40 et 70%. Les pourcentages apportés sont exprimés en concentrations pondérales.

Avec une telle composition les résultats suivants sont obtenus :

- pertes dans le fer $W_{15/50}$, c'est à dire en watts/kilogramme à 50Hz pour $\hat{B} = 1,5$ Tesla, sensiblement égales à 2,3 W/kg pour une épaisseur de 0,35mm.
 - induction magnétique B_{5000} , (c'est à dire l'induction magnétique dans un champ de 5000 A/m) de 1,70 Tesla pour une épaisseur de 0,35 mm.
- 5 - allongement relatif à la rupture mesurée en sens long : 26%.
- allongement relatif à la rupture mesurée en sens travers : 29%.

Ces caractéristiques favorables sont obtenues après un recuit intermédiaire ne dépassant pas 950 °C conduit en atmosphère d'hydrogène sec, suivi d'une décarburation à 825 °C et d'un recuit final à 1050 °C en atmosphère d'hydrogène sec également.

10 Un essai comparatif a été effectué avec un échantillon ayant la même composition, avec une décarburation et un recuit final identique, mais avec une température de recuit intermédiaire de 1050 °C.

Les pertes dans le fer $W_{15/50}$ et l'induction magnétique B_{5000} obtenues sont sensiblement les mêmes, mais dans ce cas, l'allongement relatif à la rupture mesurée dans le sens de laminage est de 3% et l'allongement relatif à la rupture mesurée dans le sens travers est de 10%.

15 Ces résultats montrent qu'avec une tôle d'acier ayant la composition du FR-A-2.316.338 et avec un recuit intermédiaire supérieur à 950 °C, la tôle devient trop fragile et le laminage à l'épaisseur finale devient impossible.

Il est à noter que tous les exemples du FR-A-2.316.338 sont décrits avec une proportion de silicium comprise entre 2,5% et 3,5% et une proportion d'aluminium ne dépassant pas 1,5%, l'acier devenant trop 20 fragile dans le cas où le pourcentage d'aluminium dépasse cette valeur.

Il ressort donc de ce brevet que l'addition d'aluminium, en quantité croissante, provoque une fragilisation de plus en plus marquée de l'alliage.

La présente invention a donc pour but d'éviter ces inconvénients tout en augmentant le pourcentage d'aluminium et en diminuant le pourcentage de silicium contrairement au FR-A-2.316.338, et de proposer 25 une tôle magnétique contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium possédant une texture dite cubique, c'est à dire possédant deux directions de facile aimantation dans le plan de la tôle, l'une confondue avec la direction de laminage, l'autre avec la direction travers, et dont les propriétés magnétiques sont améliorées par rapport aux tôles fer-silicium non orientées existantes, en particulier, la perméabilité dans des champs d'excitation de grande amplitude et les pertes spécifiques à fréquence industrielle

30 pour une valeur crête de l'induction de 1,5 Tesla ou plus, le tout avec des propriétés mécaniques comparables à celles des tôles fer-silicium non orientées d'usage courant.

Selon l'invention, la tôle magnétique est obtenue à partir d'une bande d'acier laminée à chaud contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium, caractérisée en ce que sa composition pondérale est la suivante :

- 35 - Silicium inférieur à 3,3%
- Aluminium compris entre 1,5 et 8%
- Manganèse inférieur à 0,2%
- Somme des résidus métalliques (Nickel, Chrome, Molybdène, Titane, Cuivre) inférieur à 0,1%
- Carbone inférieur à $30.10^{-4}\%$, soufre inférieur à $20.10^{-4}\%$, azote inférieur à $20.10^{-4}\%$, oxygène inférieur à 40 $20.10^{-4}\%$, phosphore inférieur à $50.10^{-4}\%$.

- le reste étant du fer,
et en ce que la bande d'acier issue du laminage à chaud, soumise à deux laminages à froid séparés par un recuit intermédiaire et suivis d'un recuit final, le taux de réduction du laminage à froid final étant compris entre 50 et 80%, de préférence entre 60 et 75%, présente une texture de type cubique, 40% au moins des 45 grains ne s'écartant pas de plus de 15° de l'orientation cubique idéale (100) [001] en notation de MILLER.

Selon d'autres caractéristiques,

- la somme des pourcentages de silicium et d'aluminium est inférieure à 9% en concentration pondérale,
- la teneur en silicium est de préférence inférieure à 2,5% en concentration pondérale,
- la teneur en aluminium est de préférence comprise entre 1,5 et 5% en concentration pondérale,
- 50 - le recuit intermédiaire est effectué en continu à une température supérieure à 950 °C pendant 1 à 5 minutes,
- le recuit final est effectué en continu à une température comprise entre 950 °C et 1100 °C pendant 1 à 5 minutes.
- le recuit final est effectué en statique à une température comprise entre 1000 °C et 1100 °C pendant 1 à 5 heures.

La tôle magnétique selon l'invention contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium se caractérisé en ce que la texture cubique présente des caractéristiques d'anisotropie magnétocristalline qui, mesurées suivant la méthode de la balance de torsion, ont pour le grand maximum (M_1) et le petit

maximum (m_2) des valeurs supérieures à 8000 to 5600 J/m³ et pour le coefficient d'anisotropie $\rho = \frac{m_2}{M_1}$ une valeur supérieure à 0,70.

La tôle magnétique selon l'invention se caractérisé en outre en ce que les directions de facile aimantation sont la direction de laminage et la direction perpendiculaire au laminage dans le plan de la tôle.

5 Les essais décrits ci-dessous en regard des dessins annexés déterminent les caractéristiques de la tôle magnétique selon l'invention.

- la Fig. 1 représente l'évolution des maxima m_2 , M_1 du couple d'anisotropie mesurés à l'épaisseur intermédiaire après un premier laminage à froid et un recuit, en fonction de l'épaisseur intermédiaire.

10 - la Fig. 2 représente l'évolution des pertes à 1T-50Hz en fonction de la température du recuit final pour l'épaisseur de 0,35mm.

- la Fig. 3 représente l'évolution des pertes à 1,5 T-50Hz en fonction de la température du recuit final pour l'épaisseur de 0,35 mm.

- la Fig. 4 représente l'évolution des inductions B_{800} et B_{2500} pour les champs d'excitation de 800A/m et 2500 A/m en fonction de la température du traitement final.

15 Les différentes étapes du cycle de fabrication ont des influences plus ou moins marquées sur les caractéristiques de la tôle obtenue, notamment la texture, les pertes, l'induction, ainsi que cela va être décrit à l'aide de plusieurs exemples.

Des essais ont été conduits pour vérifier l'influence de la texture de solidification initiale du lingot de l'acier de base sur la texture finale de la tôle.

20 Deux formes de lingotières ont été utilisées, l'une de forme parallélépipédique, l'autre de forme cylindrique.

Ces formes simulent les phénomènes susceptibles de se produire au cours d'une solidification, l'une en coulée continue et l'autre par la voie lingot.

Une analyse des textures par la technique des figures de corrosion montre que les deux lingots ne 25 présentent pas de texture de solidification particulièrement marquée. Les tôles obtenues à partir des deux lingots de formes différentes ont des propriétés magnétiques très proches et des tailles de grains également semblables, forme initiale du lingot n'a pas de conséquence significative sur la texture des tôles qui en résulte après le traitement thermique.

Le lingot de l'acier de base est soumis à un laminage à chaud pour obtenir une tôle d'acier d'une épaisseur d'environ 2,5 mm. Le cycle de traitement de la bande d'acier laminée à chaud selon l'invention est le suivant

- Décapage,

- 1er laminage à froid à l'épaisseur de 1 mm,

- Recuit intermédiaire en continu à 1020 °C durant 2mn,

35 - 2ème laminage à froid à l'épaisseur de 0,35 mm,

- Recuit final statique à 1050 °C durant 3 heures.

Les caractéristiques des échantillons sont mesurées :

a - par analyse chimique,

b - par mesure optique pour la détermination de la dimension des grains,

40 c - par la mesure des pertes magnétiques,

d - par la mesure du couple d'anisotropie.

La mesure du couple d'anisotropie se fait au moyen d'une balance de torsion. Le principe de la mesure est le suivant :

Après le repérage de la direction de laminage, on découpe par poinçonnage dans la tôle, un disque 45 d'un diamètre d'environ 15 mm. Ce disque est ensuite mis en place sur un support horizontal, mobile autour d'un axe vertical, et un champ magnétique extérieur sature l'échantillon dans une direction variable du plan horizontal repérée par l'angle que fait l'aimantation avec la direction de laminage. En présence d'une énergie d'anisotropie volumique, le disque échantillon est soumis à un couple, qui tend à aligner l'aimantation du disque suivant l'une des directions privilégiées dites de facile aimantation.

50 La mesure consiste à faire varier l'angle que fait l'aimantation avec la direction de laminage et à relever le couple mécanique qu'il faut exercer sur le disque pour le maintenir fixe.

Le module du couple en fonction de l'angle que fait l'aimantation avec la direction de laminage a sensiblement une allure sinusoïdale ayant deux maxima successifs différents M_1 et m_2 où M_1 est le grand maximum et m_2 le petit maximum, l'anisotropie étant caractérisée par le rapport $\rho = \frac{m_2}{M_1}$ qui tend vers 1 55 dans le cas d'une anisotropie idéale, alors que la qualité de la texture cubique est d'autant meilleure que M_1 et m_2 sont plus élevés.

Le cycle de traitement de la bande d'acier laminée à chaud comprend deux laminages à froid et la détermination de l'influence des taux de réduction au cours de ces laminages est importante pour

caractériser l'évolution de la texture. La mesure du couple d'anisotropie est un paramètre qui permet d'apprécier cette évolution.

La bande d'acier laminée à chaud est réduite après un premier laminage à froid à une épaisseur intermédiaire variant de 0,7 mm à 2 mm.

5 L'étude du couple d'anisotropie magnétocristalline après le premier recuit intermédiaire permet de connaître la ou les directions de facile aimantation, et les modifications de la courbe de couple d'anisotropie permettent de repérer les modifications de texture.

Le tableau 1 présente les résultats des mesures de couples d'anisotropie obtenus sur la bande réduite à l'épaisseur indiquée, d'un acier selon l'invention de composition Si, 1,92%, AL 1,86%.

10

TABLEAU 1

Epaisseur Intermédiaire	Orientation des directions de facile aimantation	M_1 (J/m ³)	m_2 (J/m ³)	$\rho = \frac{m_2}{M_1}$
$e_1 = 2 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	4 600	3 000	0,65
$e_2 = 1,5 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	4 400	4 100	0,93
$e_3 = 1,0 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	4 000	3 600	0,90
$e_4 = 0,7 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	4 000	3 400	0,85
$e_5 = 0,5 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	2 000	1 400	0,7
$e_6 = 0,35 \text{ mm}$	$0^\circ - 90^\circ$	2 000	1 000	0,5

TABLEAU I

30 Ces résultats montrent que pour un premier taux de laminage à froid convenable, certains échantillons possèdent une texture d'allure cubique avec deux directions de facile aimantation bien marquées respectivement parallèles et perpendiculaires à la direction de laminage.

Les variations de m_2 et M_1 , et la valeur mesurée de ρ en fonction de l'épaisseur intermédiaire, représentées sur la figure 1, montrent que la texture n'est pas très sensible à la variation de l'épaisseur intermédiaire entre 0,7 et 1,5 mm, mais se dégrade hors de ces limites.

35 La texture finale peut être influencée par le recuit intermédiaire du cycle de fabrication selon l'invention notamment par l'atmosphère lors de ce traitement thermique.

Le recuit intermédiaire à une épaisseur de 1 mm est effectué en atmosphère sèche d'hydrogène purifié, puis en faisant varier le taux d'oxygène.

40 Le tableau II récapitule les résultats obtenus au stade intermédiaire 1 mm et au stade final 0,35 mm, pour les petits et grands maxima, ainsi que les coefficients d'anisotropie correspondants, la composition de l'acier étant Si 1,92%, AL 1,86%.

45

50

55

TABLEAU II

	Stade intermédiaire 1 mm			Stade final 0,35 mm		
	M_1 (J/m ³)	m_2 (J/m ³)	$\rho = \frac{m_2}{M_1}$	M_1 (J/m ³)	m_2 (J/m ³)	$\rho = \frac{m_2}{M_1}$
Reduit intermédiaire en atmosphère sèche Pt de rosée < -20 ° C	6 300	4 500	0,71	9 100	8 200	0,90
Reduit intermédiaire en atmosphère humide Pt de rosée = + 35 ° C	7 200	4 600	0,64	6 000	4 500	0,75

Les valeurs de ρ étant plus élevées après des traitements thermiques en atmosphère sèche, on en déduit que l'utilisation d'une atmosphère humide est moins favorable qu'une atmosphère sèche pour l'obtention d'une texture cubique.

5 Le rôle du recuit final est important puisque le recuit doit réparer les défauts introduits par le second laminage à froid et, de plus, la tôle issue de ce recuit final est directement utilisée. Les caractéristiques après le recuit final sont donc les caractéristiques définitives.

Deux séries d'essais ont permis d'étudier les caractéristiques des tôles obtenues après recuit final statique, en fonction d'une part de la variation de la température utilisée du recuit final en statique et d'autre 10 part en fonction de temps de maintien en température.

Les mesures de couple d'anisotropie sont indiquées dans le tableau III pour l'épaisseur de 0,35 mm, en fonction de la température du recuit final.

TABLEAU III

15

Conditions du recuit final en statique	M_1 (J/m ³)	m_2 (J/m ³)	$\rho = \frac{m_2}{M_1}$
950 ° - 1 h	8 000	6 000	0,75
1000 ° - 1 h	8 600	6 400	0,74
1050 ° - 1 h	8 600	6 400	0,74
1100 ° - 1 h	9 000	6 500	0,72

25

La température de traitement thermique n'a pas d'influence significative sur les courbes d'anisotropie, par contre l'étude des pertes magnétiques mesurées respectivement à deux valeurs d'induction de 1 Tesla et de 1,5 Tesla comme représentées sur les figures 2 et 3 montre une augmentation néfaste desdites pertes magnétiques, au-dessus d'une température de recuit final de 1050 ° C et au-dessous de 950 ° C.

De même, les valeurs d'aimantation en fonction des températures de recuit final (pour une durée du recuit égale à 1 heure) représentées sur la figure 4 montrent une diminution de l'aimantation lorsque la température du recuit final augmente.

30 L'étude des pertes magnétiques et de l'aimantation permet de déterminer un intervalle de température favorable pour le recuit final, compris entre 1000 ° et 1100 ° C.

Les mesures d'anisotropie en fonction de la durée du recuit final à 1000 ° C sont regroupées dans le tableau IV ci-dessous.

TABLEAU IV

40

45

Durée du recuit final en statique	M_1 (J/m ³)	m_2 (J/m ³)	ρ
1 h	8 500	6 400	0,75
2 h	8 000	6 700	0,83
4 h	8 600	6 400	0,74
8 h	8 200	6 900	0,84
32 h	8 100	6 200	0,76

50

La durée du recuit final n'influe pas sur la valeur de l'anisotropie au-delà d'un certain stade, car les grains atteignent une taille telle qu'ils traversent la tôle et que leur croissance s'arrête. A partir de cet état, la texture n'évolue plus.

55 Le recuit intermédiaire peut être effectué en continu à une température supérieure à 950 ° C pendant 1 à 5mn, et le recuit final à une température comprise entre 950 ° et 1100 ° C également pendant 1 à 5 mn.

Parmi les impuretés que l'on trouve inévitablement dans les alliages utilisés pour la fabrication des tôles magnétiques fer - silicium -aluminium, les quatre éléments soufre, carbone, oxygène et azote engendrent des détériorations au niveau des caractéristiques magnétiques.

Les deux exemples suivants montrent l'influence de ces éléments sur l'anisotropie.

Le traitement de tôles d'acier contenant du silicium et de l'aluminium dans les proportions suivantes:

- silicium inférieur à 3,3% de préférence inférieur à 2,5%
- aluminium compris entre 1,5 et 8% de préférence compris entre 1,5 et 5% en concentration pondérale tel que la somme des pourcentages de silicium et d'aluminium ne dépasse pas 9% en concentration pondérale.

Ce traitement comprenant les étapes suivantes :

- un laminage à chaud
 - un décapage
 - un premier laminage à froid
 - un recuit intermédiaire
 - un deuxième laminage à froid
 - un recuit final
- permet d'obtenir une tôle ayant une texture générale de type cubique, 40% au moins des grains ne s'écartant pas de plus de 15° de l'orientation cubique idéale (100) [001] en notation de MILLER.

Dans l'exemple 1, la composition de l'acier est donnée dans le tableau V.

TABLEAU V

20

% en Poids	en ppm 10^{-4} %									
	Si	Al	C	S	O	N	Mn	Cu	Co	Ni
	1,88	1,80	50	3	19	17	20	50	50	50

25

Les échantillons sont élaborés à partir d'une tôle laminée à chaud réduite à une épaisseur intermédiaire de 1 mm, puis recuite sous H₂ pendant 2 mn à la température de 1020 °C.

Les valeurs caractéristiques de la mesure du couple d'anisotropie sont alors de :

$$M_1 = 5000 \text{ J/m}^3 \quad m_2 = 4300 \text{ J/m}^3 \quad \rho = 0,85$$

L'anisotropie de la tôle est peu marquée, mais présente déjà une structure cubique, le rapport des maxima étant $\rho = 0,85$.

Un laminage à froid est ensuite réalisé pour obtenir des échantillons de 0,35 mm d'épaisseur qui sont soumis à un recuit sous H₂ pendant 3 heures à 1050 °C.

35 On peut caractériser la tôle obtenue par les résultats suivants :

- pertes à 1 Tesla - 50 Hz = 0,80 w/kg
- pertes à 1,5 Tesla - 50 Hz = 2,00 w/kg
- induction pour un champ continu

de 800 A/m : 1,50 T

40 de 2500 A/m : 2,63 T

- $M_1 = 9000 \text{ J/m}^3$
- $m_2 = 6800 \text{ J/m}^3$
- $\rho = 0,76$

45 Le matériau obtenu au stade final est fortement anisotrope. Il présente une texture marquée, également d'allure cubique ($\rho = 0,76$). Il est à noter, dans ce cas, que la texture obtenue équivaut à un mélange comprenant 46% d'une texture (100) [001] pure, le reste du matériau étant parfaitement isotrope. Que ce soit au stade intermédiaire, ou au stade final, la direction de laminage et la direction perpendiculaire à la direction de laminage peuvent être considérées comme des directions de facile aimantation.

Dans l'exemple 2, la composition de l'acier est donnée par la tableau VI suivant :

50

TABLEAU VI

55

% en Poids	10 ⁻⁴ %										
	Si	Al	C	S	O	N	Mn	Cu	Co	Ni	Cr
	1,86	1,81	40	2	11	1	50	50	60	30	20

Le mode opératoire pour l'obtention des échantillons reste identique à celui décrit dans l'exemple 1.

Les valeurs caractéristiques du couple d'anisotropie et les pertes magnétiques sont dans ce cas :

$$M_1 = 10200 \text{ J/m}^3 \quad m_2 = 8300 \text{ J/m}^3 \quad \rho = 0,81$$

5 pertes à 1 Tesla-50Hz = 0,76 w/Kg

pertes à 1,5 Tesla-50Hz = 1,74 w/Kg

$$B_{800} = 1,52 \text{ T} \quad B_{2500} = 1,64 \text{ T}$$

Dans ce deuxième exemple, nous avons obtenu un pourcentage de texture cubique plus important que dans l'exemple 1 et nous pouvons remarquer qu'aussi bien les caractéristiques de pertes et que celles de l'aimantation sont améliorées.

10 La présente invention apporte une amélioration des propriétés magnétiques par rapport aux tôles fer-silicium non orientées existantes, tout en ayant des propriétés mécaniques comparables à celles des tôles fer-silicium non orientées d'usage courant.

15

Revendications

1. Tôle magnétique obtenue à partir d'une bande d'acier laminée à chaud, contenant notamment du fer, du silicium et de l'aluminium, caractérisée en ce que sa composition pondérale est la suivante :

20 - Silicium inférieur à 3,3%

- Aluminium compris entre 1,5 et 8%

- Manganèse inférieur à 0,2%

- Somme des résidus métalliques (Nickel, Chrome, Molybdène, Titane, Cuivre) inférieure à 0,1%

- Carbone inférieur à $30 \cdot 10^{-4}\%$, Soufre inférieur à $20 \cdot 10^{-4}\%$, Azote inférieur à $20 \cdot 10^{-4}\%$,

25 - Oxygène inférieur à $20 \cdot 10^{-4}\%$, phosphore inférieur à $50 \cdot 10^{-4}\%$,

- le reste étant du fer,

et en ce que le bande d'acier, issue du laminage à chaud, soumise à deux laminages à froid, séparés par un recuit intermédiaire et suivis d'un recuit final, le taux de réduction du laminage à froid final étant compris entre 50 et 80%, de préférence entre 60 et 75%, présente une texture de type cubique, 40% au moins des grains ne s'écartant pas de plus de 15° de l'orientation cubique idéale (100) 001 en notation de MILLER.

30 2. Tôle magnétique selon la revendication 1, caractérisé en ce que la somme des pourcentages de silicium et d'aluminium est inférieure à 9% en concentration pondérale.

3. Tôle magnétique selon les revendications 1 et 2, caractérisée en ce que la teneur en silicium est de préférence inférieure à 2,5% en concentration pondérale.

35 4. Tôle magnétique selon les revendications 1 et 2, caractérisée en ce que la teneur en aluminium est de préférence comprise entre 1,5 et 5% en concentration pondérale;

5. Tôle magnétique selon l'une des revendications précédentes, caractérisée en ce que le recuit intermédiaire est effectué en continu à une température supérieure à 950°C pendant 1 à 5 minutes.

6. Tôle magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le recuit final est effectué en continu à une température comprise entre 950° et 1100°C pendant 1 à 5 minutes.

40 7. Tôle magnétique selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que le recuit final est effectué en statique à une température comprise entre 1000° et 1100°C pendant 1 à 5 heures.

8. Tôle magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que la texture cubique présente des caractéristiques d'anisotropie magnétocristalline qui, mesurées suivant la méthode de la balance de torsion, ont pour le grand maximum (M_1) et la petit maxima (m_2) des valeurs supérieures à 8000 et 5600 J/m³ et pour le coefficient d'anisotropie m_2 une valeur supérieure à 0,70.

M_1

55 9. Tôle magnétique selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que les directions de facile aimantation sont la direction de laminage et la direction perpendiculaire au laminage dans le plan de la tôle.

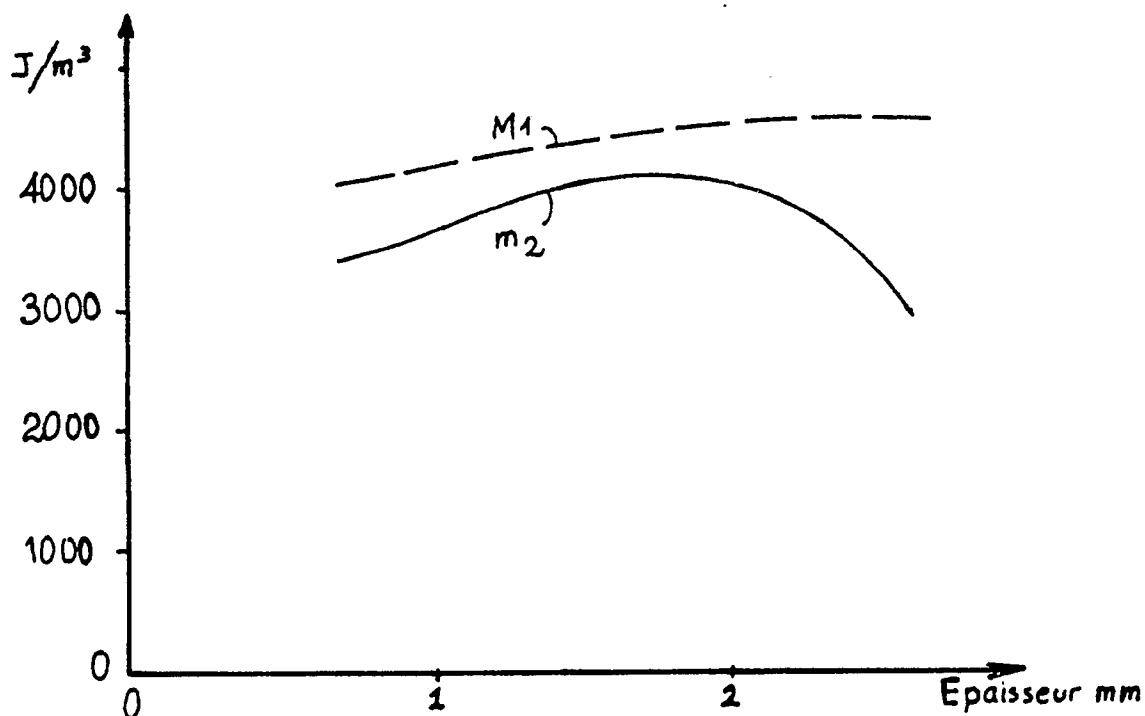
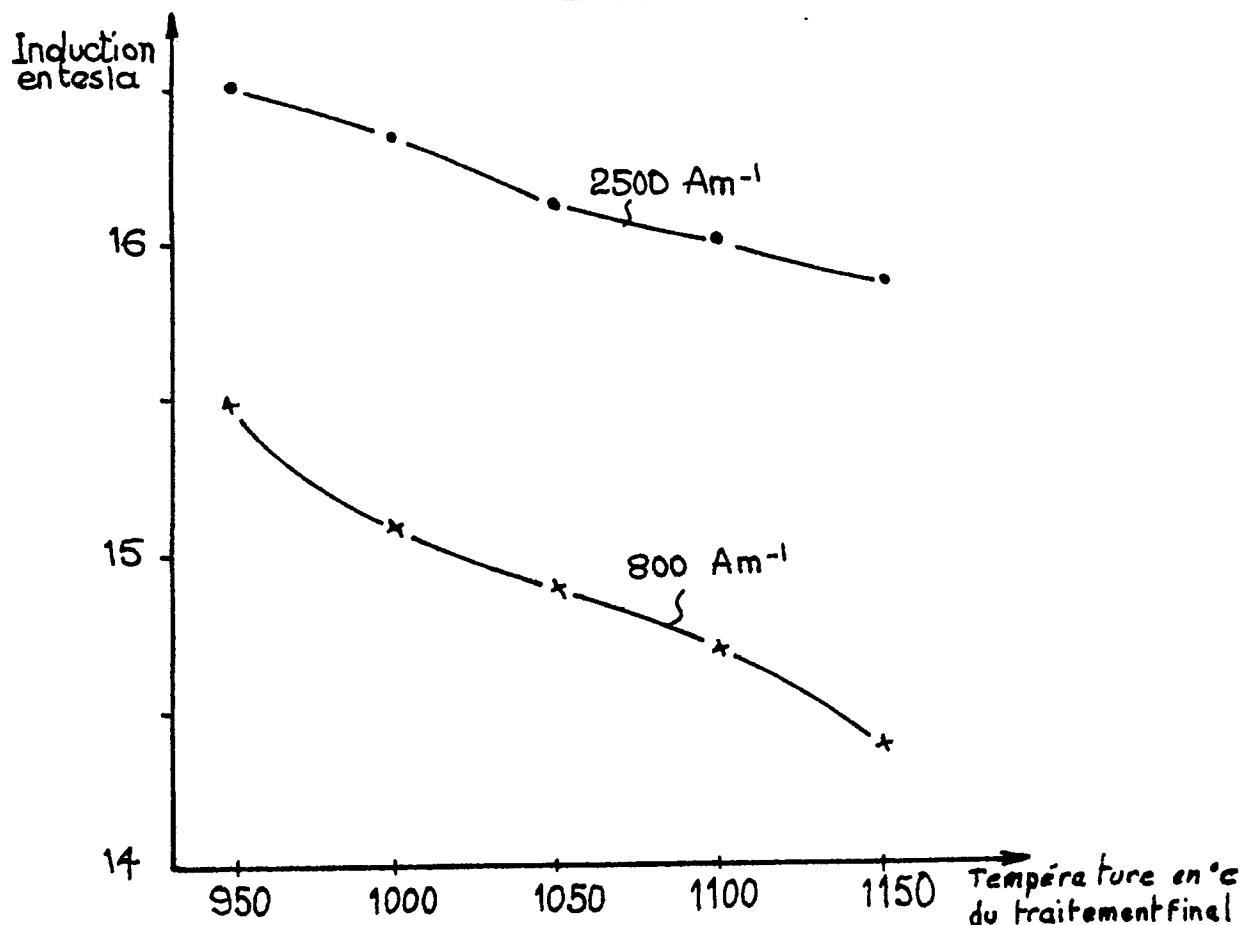
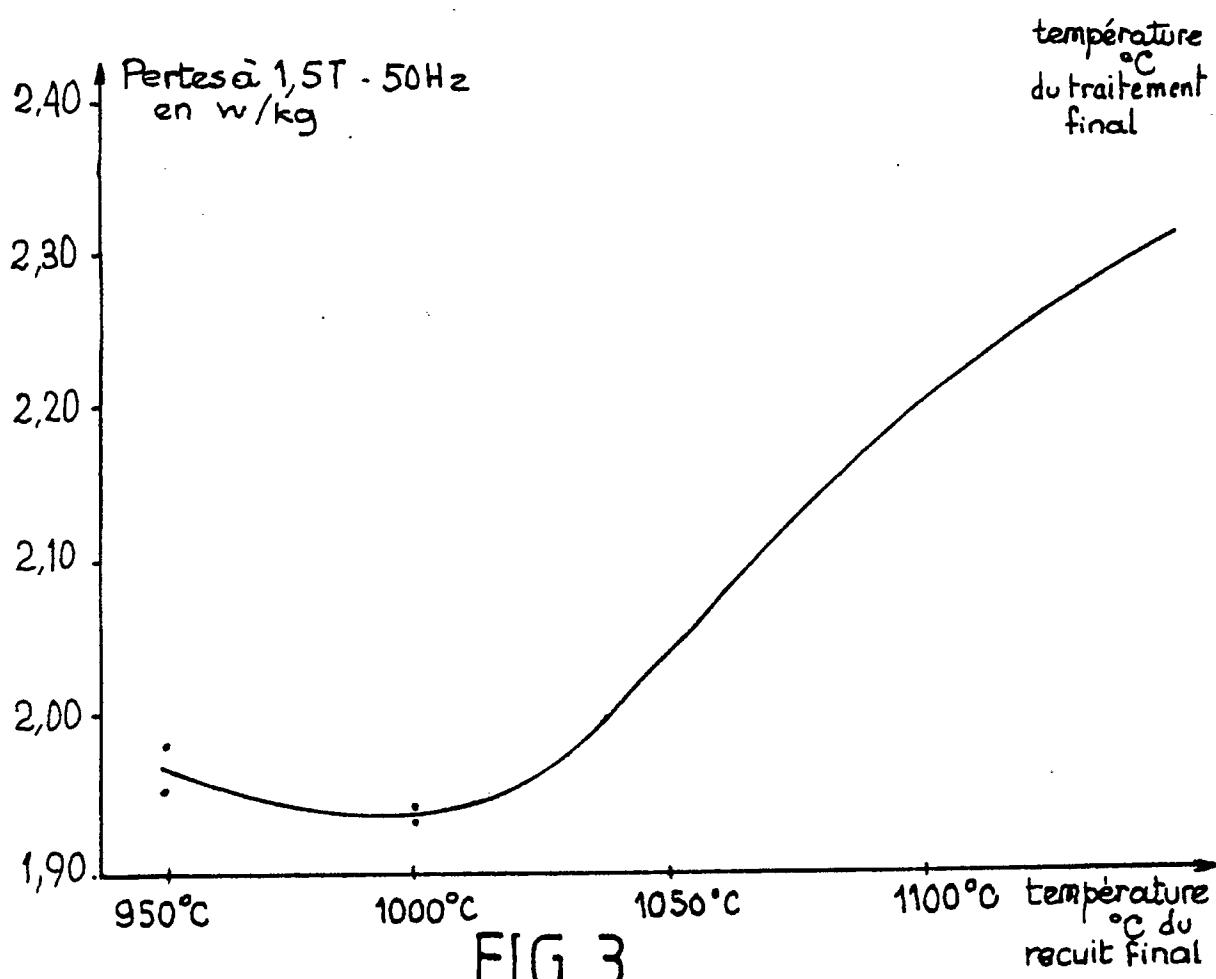
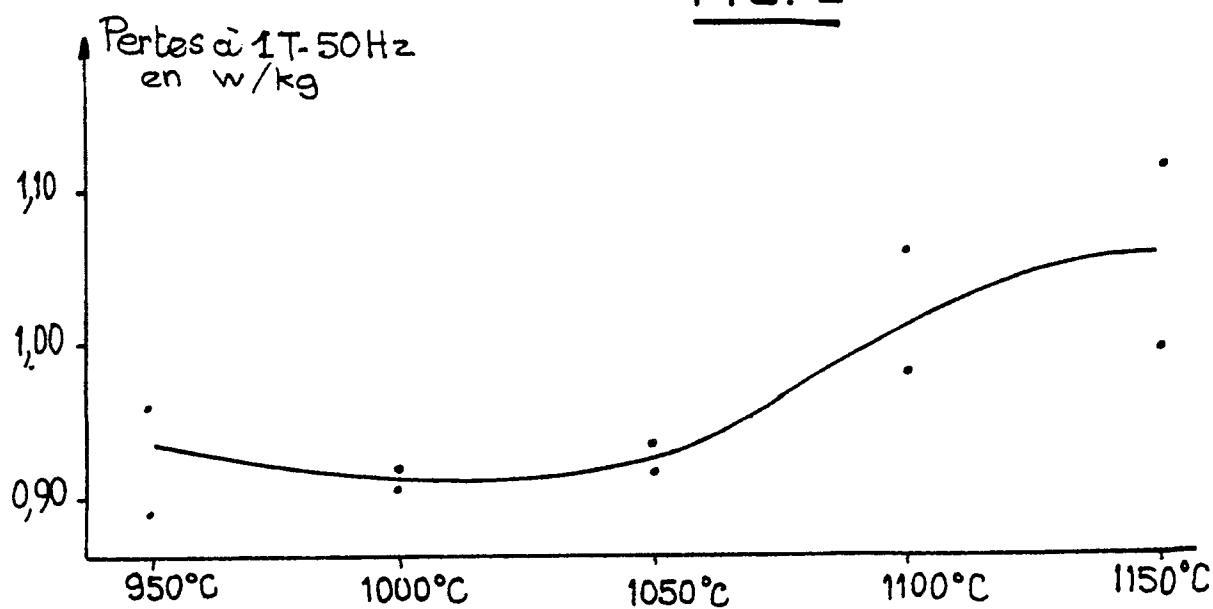
FIG. 1FIG. 4

FIG. 2FIG. 3



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numéro de la demande

EP 90 40 1402

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int. Cl.5)
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	FR-A-2 372 237 (KAWASAKI STEEL) * Revendications 1,2; page 12, lignes 32-35; page 13, lignes 1-2 * ---	1-7	C 21 D 8/12 C 22 C 38/06 C 22 C 38/02
A	FR-A-2 186 714 (STAHLWERKE PEINE-SALZGITTER) * Revendications 1,2 * ---	1-4	
A	DE-C-1 227 490 (KOBÉ STEEL WORKS) * Revendication 1; colonne 5, alliage B * ---	1-4	
A	EP-A-0 089 195 (KAWASAKI STEEL) * Revendications 1,3 * -----	5-7	
		DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int. Cl.5)	
		C 21 D C 22 C	
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche	Date d'achèvement de la recherche	Examinateur	
LA HAYE	04-09-1990	WITTBLAD U.A.	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet antérieur, mais publié à la date de dépôt ou après cette date D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	
X : particulièrement pertinent à lui seul			
Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie			
A : arrière-plan technologique			
O : divulgation non-écrite			
P : document intercalaire			