

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 786 528 A1

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(43) Date de publication:
30.07.1997 Bulletin 1997/31

(51) Int Cl.⁶: **C21D 8/12**

(21) Numéro de dépôt: **97400114.1**

(22) Date de dépôt: **21.01.1997**

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

(30) Priorité: **25.01.1996 FR 9600808**

(71) Demandeur: **USINOR SACILOR
92800 Puteaux (FR)**

(72) Inventeurs:
• **Poiret, Philippe
62330 Isbergues (FR)**
• **Bavay, Jean-Claude
62330 Isbergues (FR)**

- **Verdun, Jean
92150 Suresnes (FR)**
- **Bertoni, André
48200 St Chely d'Apcher (FR)**
- **Hernandez, Jacques
48200 St Chely d'Apcher (FR)**

(74) Mandataire: **Ventavoli, Roger
TECHMETAL PROMOTION (Groupe USINOR
SACILOR),
Immeuble " La Pacific ",
11/13 Cours Valmy - La Défense 7,
TSA 10001
92070 Paris La Défense Cédex (FR)**

(54) **Procédé de fabrication de tôle d'acier magnétique à grains non orientés et tôle obtenue par le procédé**

(57) Procédé d'élaboration d'une tôle magnétique à grains non orientés à partir de l'élaboration sous vide d'un acier ayant dans sa composition moins de 0,5% de silicium, ledit acier, mis sous forme de brame, étant soumis successivement à :

une opération de laminage à chaud suivie d'un bobinage,
une opération facultative de grenailage,
une opération de décapage,
une opération de laminage à froid,
au moins un recuit,

caractérisé en ce que l'acier de composition suivante:

carbone < 0,01%

silicium < 0,5%,
manganèse de 0,05 à 0,5%
aluminium < 0,03%,
phosphore < 0,20%,
soufre < 0,015%;
azote < 0,01%,
oxygène < 0,01 %,

est soumis à un laminage à chaud avec une température de réchauffage de brame inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C, la bande laminée à chaud étant bobinée à une température supérieure à 550°C, puis laminée à froid, en au moins une opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la bande laminée à froid étant soumise à un recuit final.

EP 0 786 528 A1

Description

La présente invention concerne un procédé de fabrication de tôle d'acier magnétique à grains non orientés.

Les tôles magnétiques dites à grains non orientés, c'est à dire ayant des propriétés magnétiques isotropes sont particulièrement destinées à la construction de dispositifs électromagnétiques dans lesquels le flux magnétique généré par les enroulements électriques n'est pas constant, comme par exemple dans les machines tournantes. Certains transformateurs utilisés dans le domaine de l'électroménager utilisent ce type de tôles pour des raisons économiques.

Ces dispositifs électromagnétiques sont constitués de tôles découpées et assemblées. Les tôles ont une efficacité qui s'évalue en fonction de deux paramètres qui sont l'induction, d'une part, et les pertes spécifiques d'autre part.

L'induction est limitée par l'aimantation à saturation des tôles et cette aimantation est d'autant plus élevée que l'acier est riche en fer. L'addition d'éléments d'alliage dans l'acier entraîne une augmentation de la résistivité électrique, ce qui a pour fonction de diminuer les pertes par courants de Foucault.

L'élaboration sous vide de l'acier permet d'améliorer d'une part, la propreté et la pureté dudit acier et d'autre part, de réduire les pertes par hystérésis.

Aussi, il est nécessaire de trouver un compromis, du point de vue composition, entre l'aimantation et les pertes.

Il est connu du brevet EP 0 469 980 un procédé utilisé dans le domaine de la fabrication de tôles magnétiques à grains non orientés, le procédé comportant successivement, après élaboration sous vide d'un acier, une opération de laminage à chaud suivie d'un bobinage, un recuit rapide dit au défilé de la tôle laminée à chaud, une opération facultative de grenailage, une opération de décapage, une opération de laminage à froid en une ou plusieurs étapes suivies d'un recuit, le recuit final étant réalisé sous atmosphère contrôlée, décarburante si nécessaire.

Les tôles obtenues par ce procédé, pour une épaisseur finale de 0,50 millimètre environ, ont des pertes spécifiques inférieures à 6,5 W/Kg sous une induction de 1,5 Tesla et une fréquence de 50 Hertz ainsi qu'une aimantation supérieure à 1,74 Tesla sous un champ électrique de 5000 A/m.

Pour une épaisseur de la tôle d'environ 0,65 millimètre, les pertes totales massiques sont inférieures à 7,5 W/Kg sous une induction de 1,5 Tesla et une fréquence de 50 Hertz. L'aimantation est supérieure à 1,75 Tesla sous un champ de 5000 A/m.

L'invention a pour but d'améliorer les caractéristiques magnétiques des tôles à grains non orientés réalisées avec un acier ne contenant que très peu de silicium, c'est à dire de réduire les pertes magnétiques et d'augmenter l'aimantation sous un champ électrique déterminé.

Elle a pour objet un procédé de fabrication d'une tôle magnétique à grains non orientés à partir de l'élaboration sous vide d'un acier ayant dans sa composition moins de 0,5% de silicium, ledit acier, mis sous forme de brame, étant soumis successivement à :

une opération de laminage à chaud suivie d'un bobinage,
une opération facultative de grenailage,
une opération de décapage,
une opération de laminage à froid,
au moins un recuit, caractérisé en ce que l'acier de composition suivante:

carbone < 0,01%,

silicium < 0,5%,

manganèse, de 0,05 à 0,5%,

aluminium < 0,03%,

phosphore < 0,20%,

soufre < 0,015%;

azote < 0,01%,

oxygène < 0,01%,

est soumis à un laminage à chaud avec une température de réchauffage de brame inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C, la bande laminée à chaud étant bobinée à une température supérieure à 550°C, puis laminée à froid en au moins une opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la bande laminée à froid étant soumise à un recuit final.

Les autres caractéristiques de l'invention sont:

dans une forme de l'invention,

- le laminage à froid en une opération est réalisé sous un taux de réduction compris entre 25 et 90%.

dans une autre forme de l'invention,

EP 0 786 528 A1

- le procédé comprend en outre, après laminage à chaud, un recuit statique en bobine de la tôle à une température comprise entre 700 et 1050°C pendant un temps supérieur à 1 heure, le laminage à froid étant effectué en une seule opération avec un taux de réduction compris entre 25 et 90%, le recuit final étant effectué au défilé.

dans une autre forme de l'invention,

- après laminage à chaud, la tôle laminée à chaud est soumise à un laminage à froid, le laminage à froid comprenant deux étapes avec un recuit intermédiaire et un recuit final.
- la première étape de laminage à froid est effectuée avec un taux de réduction inférieur à 50%.
- la deuxième étape de laminage à froid est effectuée avec un taux de réduction supérieur à 40%.
- le recuit intermédiaire, statique, est effectué à une température comprise entre 700 et 1050 °C, pendant un temps supérieur à 0,5 heure.
- le recuit intermédiaire, au défilé, est effectué à une température comprise entre 700 et 1050 °C, pendant un temps inférieur à 10 minutes (mn).
- le recuit final au défilé est réalisé à une température comprise entre 700 et 1050 °C pendant un temps inférieur à 10 mn.

En outre, après le recuit final, on soumet la tôle préalablement découpée à un recuit d'élimination des contraintes.

- le recuit d'élimination des contraintes est effectué à une température supérieure à 650 °C pendant un temps supérieur à 3 mn.

L'invention concerne également une tôle d'acier magnétique obtenue par le procédé.

La description qui suit donnant une suite d'exemples de réalisation fera bien comprendre l'invention.

La figure unique présente une courbe d'aimantation en fonction des taux de laminage à froid, le laminage à froid étant réalisé en une seule opération.

Selon la présente invention, il est mis en évidence que l'on peut réduire les pertes massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz, à moins de 5 W/Kg pour une épaisseur de tôle d'environ 0,35 mm, à moins de 6 W/Kg pour une épaisseur de tôle d'environ 0,50 mm; à moins de 8W/Kg pour une épaisseur de tôle d'environ 0,65 mm, à moins de 11 W/Kg pour une épaisseur de tôle d'environ 1 mm, et obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,72 T sous un champ électrique de 5000 A/m pour une tôle de 0,35 mm d'épaisseur, une aimantation égale ou supérieure à 1,75 Tesla pour des tôles de 0,50mm, 0,65 mm, et 1mm d'épaisseur en soumettant selon le procédé de l'invention, un acier ayant la composition donnée à :

- un laminage à chaud avec une température de réchauffage de brame inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C, la bande laminée à chaud étant bobinée à une température supérieure à 550°C, puis laminée à froid en au moins une opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la bande laminée à froid étant soumise à un recuit final.

Dans ce procédé il n'est pas effectué de recuit rapide de la tôle laminée à chaud.

Les exemples de 1 à 5 qui suivent, illustrent les caractéristiques générales de la présente invention.

Exemple 1.

Une brame de l'acier N°1, dont la composition chimique pondérale est donnée dans le tableau 1 est réchauffée à 1200°C puis subit un premier laminage à chaud avec un taux de réduction de 86% et un second laminage à chaud avec un taux de réduction de 93%. La température de fin de laminage à chaud est de 860°C, la bande de tôle laminée à chaud d'épaisseur 2,5 mm est bobinée à la température de 710°C.

TABLEAU 1

(Acier n°1)

C	Mn	Si	S	Al	P
0,003%	0,308%	0,347%	0,010%	0,001%	0,160%

Pour effectuer des mesures comparatives la bande de tôle ainsi obtenue est partagée en tronçons :

EP 0 786 528 A1

- une partie des tronçons subissent un recuit rapide de 2,5 minutes à 1050°C avant laminage à froid pour servir de référence.
- les autres tronçons sont selon l'invention, laminés à froid sans effectuer de recuit avant le laminage à froid.

Les tronçons subissent un laminage à froid en une seule opération pour obtenir des tronçons à l'épaisseur finale de 0,35 millimètre, 0,50 millimètre, 0,65 millimètre et 1 millimètre, ce qui correspond à des taux de réduction à froid de 86%, 80%, 74% et 60%.

Un recuit final est effectué à une température de 880°C pendant 2 mn pour les tronçons de tôle de 0,35 mm, 0,50 mm et 1 mm d'épaisseur. Le recuit final est effectué à une température de 920°C pendant 2,5 minutes (mn) pour les tronçons de tôle d'épaisseur finale de 0,65 mm.

Le tableau 2 présente les caractéristiques en pertes massiques en Watt / Kilogramme à 1,5 Tesla et 50 Hertz et l'aimantation en Tesla sous un champ électrique de 5000 A/m pour une épaisseur de tôle d'environ 0,35 mm, d'environ 0,50 mm, d'environ 0,65 mm et d'environ 1 mm.

TABLEAU 2.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,35 mm avec recuit (référence)	3,95	1,78
Tôle de 0,50 mm avec recuit. (référence)	4,70	1,78
Tôle de 0,65 mm avec recuit. (référence)	5,90	1,78
Tôle de 1 mm avec recuit (référence)	11,16	1,79
	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle sans recuit. (invention)		
Tôle de 0,35 mm d'épaisseur	4,10	1,75
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.	5,20	1,77
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.	6,72	1,77
Tôle de 1 mm d'épaisseur	9,60	1,76

L'aptitude à l'aimantation de la tôle d'épaisseur finale de 1 mm, 0,65 mm et 0,50 mm est égale ou supérieure à 1,75 Tesla sous un champ de 5000 A/m lorsque l'épaisseur avant laminage à froid varie de 2 mm à 3,3 mm (comme résumé dans le tableau 2 bis) dans le cas du bobinage de la tôle laminée à chaud à la température supérieure à 650°C et en l'absence de recuit avant laminage à froid. Pour la tôle d'épaisseur finale de 0,35 mm, l'épaisseur avant laminage à froid doit être inférieure à 3,3 mm pour obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,75 Tesla.

Tableau 2 bis.

Epaisseur finale (mm)	Epaisseur avant laminage à froid (mm)	B 5000 (Tesla)
1	3,3	1,77
-	2,5	1,76
-	2	1,77
0,65	3,3	1,77
-	2,5	1,77
-	2	1,78
0,50	3,3	1,75
-	2,5	1,77
-	2	1,77
0,35	3,3	1,74
-	2,5	1,75
-	2	1,76

Exemple 2.

Une brame de l'acier n°1 est laminée à chaud de la même manière que dans l'exemple 1, mais avec un bobinage à la température de 610°C, un tronçon de la tôle étant laminée à froid avec un taux de réduction de 80%, l'autre tronçon avec un taux de réduction de 74%, sans recuit initial, c'est-à-dire sans recuit avant laminage à froid.

Après le même recuit final que dans l'exemple 1, il a été obtenu les caractéristiques magnétiques présentées dans le tableau 3

TABLEAU 3.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle sans recuit. (invention)		
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.	5,95	1,74
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.	7,67	1,74

Exemple 3.

Une brame de l'acier n°1 est laminée à chaud de la même manière que dans l'exemple 1, mais avec une température de fin de laminage à chaud de 910°C, la tôle étant laminée à froid avec un taux de réduction de 80% sans recuit initial.

Après le même recuit final que dans l'exemple 1, il a été obtenu les caractéristiques magnétiques présentées dans le tableau 4

TABLEAU 4.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle sans recuit. (invention)		
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.	5,25	1,72

Les exemples précédents comparatifs mettent en évidence, par la variation des valeurs obtenues en pertes et induction, et avec la composition de la présente invention, la nécessité d'accroître la température de bobinage ainsi que de limiter la température de fin de laminage à chaud en l'absence de traitement de recuit de la bande laminée à chaud.

Exemple 4.

Une brame d'acier n°2 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 5 est traitée dans les mêmes conditions que la brame d'acier n°1 de l'exemple 1, la tôle étant laminée à froid sans recuit initial.

TABLEAU 5

(Acier n°2)					
C	Mn	Si	S	Al	P
0,003%	0,870%	0,342%	0,008%	0,001%	0,188%

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 6

TABLEAU 6.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle sans recuit.		
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.	5,32	1,71
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.	6,32	1,72

Exemple 5.

Une brame d'acier n°3 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 7 est traitée dans les mêmes conditions que la brame n°1 de l'exemple 1, la tôle étant laminée à froid sans recuit initial.

TABLEAU 7

(Acier n°3)					
C	Mn	Si	S	Al	P
0,003%	0,106%	0,326%	0,007%	0,001%	0,173%

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 8

TABLEAU 8.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle sans recuit. (invention)		
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.	5,80	1,77
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.	7,03	1,77

On remarque en comparant les exemples 4 et 5 et les tableaux de valeurs 6 et 8 que la teneur en manganèse doit être inférieure à 0,5% car une teneur élevée en manganèse génère une diminution de l'aimantation. Cependant, un minimum de 0,05% de manganèse est nécessaire car une diminution de la teneur en manganèse tend à générer une augmentation des pertes.

Du point de vue composition, la présence de silicium et de manganèse en solution solide dans le fer augmente considérablement la résistivité électrique et, par conséquent, diminue les pertes d'énergie qui accompagnent la variation du flux d'induction magnétique. Cependant, la polarisation magnétique à saturation décroît en fonction de la teneur en silicium, en aluminium, en manganèse. Il en résulte une moindre perméabilité magnétique de l'acier au point de fonctionnement usuel des machines. Il est donc nécessaire de trouver le meilleur compromis entre la teneur en éléments d'alliage et les performances magnétiques visées. En conséquence, l'acier selon l'invention possède une teneur massique en silicium inférieure à 0,5%, et une teneur en manganèse inférieure à 0,5% pour obtenir une haute perméabilité.

La conductivité thermique est un paramètre important dans la construction des machines électriques. En effet, les pertes d'énergie par effet Joule dans les matériaux sont évacuées à l'extérieur par l'intermédiaire du circuit magnétique constitué de tôles découpées empilées. L'addition de silicium, de manganèse et d'aluminium dans le fer se traduit par une diminution de la conductivité thermique.

De ce point de vue, l'acier doit être non ou très peu allié, la faible teneur en silicium, en manganèse et en aluminium de l'acier selon l'invention permet de limiter l'échauffement des moteurs qui est préjudiciable à la bonne tenue des isolants enrobant les conducteurs. La meilleure évacuation des calories peut aussi autoriser une augmentation de la puissance massique, via l'accroissement des niveaux d'induction, sans augmentation de la température.

En d'autres termes, la composition de l'invention, de par la conductivité thermique qu'elle confère à l'acier, assure un refroidissement par conduction thermique des dispositifs électriques.

Selon une forme de l'invention, le procédé de fabrication comprend en outre, après laminage à chaud, un recuit statique de la tôle à une température comprise entre 700 et 1050°C, le laminage à froid étant effectué en une seule opération, le recuit final étant effectué au défilé.

Il est montré que l'on peut réduire les pertes magnétiques massiques en dessous de 4,5 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,35 mm, en dessous de 5,30 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,50 mm, en dessous de 7 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,65 mm, en dessous de 12,5 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 1 mm et obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla en effectuant un recuit statique de la bande de tôle laminée à chaud, associé à un laminage à froid en une seule opération suivi d'un recuit continu au défilé.

Les exemples 6 à 11 illustrent cette caractéristique.

Exemple 6.

Une brame d'acier N°4 dont la composition chimique pondérale est donnée dans le tableau 9 est réchauffée à 1173°C puis subit un premier laminage à chaud avec un taux de réduction de 86% et un second laminage à chaud

EP 0 786 528 A1

avec un taux de réduction de 93%. La température de fin de laminage à chaud est de 843°C, la bande de tôle laminée à chaud est bobinée à la température de 738°C. La tôle sous forme de bobine est soumise à un recuit statique à la température de 800°C pendant 10 heures sous une atmosphère d'hydrogène ou d'hydrogène et d'azote. La tôle est ensuite laminée à froid avec un taux de réduction de 80% pour obtenir une tôle d'épaisseur de 0,50 mm. Le recuit final est effectué à la température de 880°C pendant 2 minutes sous atmosphère d'azote et hydrogène.

TABLEAU 9

(Acier n°4)					
C	Mn	Si	S	Al	P
0,002%	0,343%	0,322%	0,006%	0,001%	0,159%

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 10.

TABLEAU 10.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention .	4,9	1,80

Exemple 7.

Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 9 est traitée de la même façon que l'acier de l'exemple 6, c'est-à-dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

La température de réchauffage de la brame est de 1185°C, la température de fin de laminage à chaud est de 857°C. La bande de tôle laminée à chaud est bobinée à la température de 636°C. Un tronçon de la bobine est soumis à un recuit statique à la température de 800°C pendant 10 heures sous une atmosphère d'hydrogène ou d'hydrogène et d'azote. La tôle est ensuite laminée à froid pour parvenir à une tôle de 0,50 mm d'épaisseur. Le recuit final est effectué à la température de 880°C pendant 2 minutes sous atmosphère d'azote et hydrogène.

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 11.

TABLEAU 11.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention .	4,7	1,79

Exemple 8.

Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 9 est traitée de la même façon que l'acier de l'exemple 6, c'est-à-dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

La température de réchauffage de la brame est de 1221°C, la température de fin de laminage à chaud est de 910°C. La bande de tôle laminée à chaud est bobinée à la température de 785°C. La tôle sous forme de bobine est soumise à un recuit statique à la température de 800°C pendant 10 heures sous une atmosphère d'hydrogène ou d'hydrogène et d'azote. La tôle est ensuite laminée à froid pour parvenir à une tôle de 0,50 mm d'épaisseur. Le recuit final est effectué à la température de 880°C pendant 2 minutes sous atmosphère d'azote et hydrogène.

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 12.

TABLEAU 12.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention .	4,62	1,82

EP 0 786 528 A1

Dans les mêmes conditions de traitement, l'acier n°2 qui comporte dans sa composition une teneur en manganèse de 0,87% conduit à des propriétés magnétiques identiques à celles du tableau 12. La teneur en manganèse doit être cependant limitée à moins de 0,5% pour améliorer la conductibilité thermique.

A plus basse température de recuit statique, il est nécessaire d'augmenter la durée de celui ci.

Exemple 9.

Un tronçon de la bobine de tôle laminée à chaud obtenue dans les conditions décrites dans l'exemple 7 est soumis à un recuit statique à une température de 710°C pendant 40 heures sous une atmosphère d'hydrogène ou d'azote et d'hydrogène.

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 13.

TABLEAU 13.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention .	4,88	1,79

Exemple 10.

Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 9 est traitée de la même façon que dans l'exemple 6, c'est à dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

La brame d'acier N°4 est réchauffée à 1188°C, la température de fin de laminage à chaud est de 816°C. La bande de tôle laminée à chaud est bobinée à la température de 702°C. Un tronçon de tôle sous forme de bobine est soumis à un recuit statique à la température de 1000°C pendant 10 heures sous une atmosphère d'hydrogène ou d'hydrogène et d'azote. La tôle est ensuite laminée à froid pour parvenir à une tôle de 0,50 mm d'épaisseur. Le recuit final est effectué à la température de 880°C pendant 2 minutes sous atmosphère d'azote et hydrogène. Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 14.

TABLEAU 14.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention	4,59	1,80

Exemple 11.

Un tronçon de la bobine de tôle laminée à chaud obtenue dans les conditions décrites dans l'exemple 7 est soumis à un recuit statique à la température de 740°C pendant 40 heures sous atmosphère d'hydrogène ou d'hydrogène et d'azote. Après recuit le tronçon est divisé en quatre parties qui subissent respectivement le laminage à froid avec un taux de réduction de 60%, 74%, 80% et 86% pour obtenir une tôle de 1 mm 0, 65 mm, 0,50 mm, et 0,35 mm d'épaisseur. La tôle de 0,5 mm d'épaisseur et la tôle de 0,35 mm d'épaisseur subissent un recuit à une température de 880°C pendant 2 mn.

La tôle de 0,65 mm d'épaisseur subit un recuit à une température de 880°C pendant 2 mn 30 s.

La tôle de 1 mm d'épaisseur subit un recuit à une température de 880°C pendant 3 mn 40 s.

Le recuit final est effectué dans une atmosphère d'hydrogène et d'azote. Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 15.

TABLEAU 15.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Selon l'invention :		
Tôle de 0,35 mm d'épaisseur	3,76	1,78
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur	4,70	1,79

TABLEAU 15. (suite)

	W 1,5/ 50	B5000
Selon l'invention :	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur	6,36	1,80
Tôle de 1 mm d'épaisseur	11,80	1,80

La figure unique montre que le taux de laminage à froid doit être égal ou supérieur à 25% pour obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,75 Tesla en l'absence de recuit statique après laminage à chaud et inférieur à 90% pour obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla lorsqu'un recuit statique est réalisé après laminage à chaud.

Dans le cas où la tôle est réalisée avec un recuit statique après laminage à chaud, il a été constaté qu'un recuit effectué sur des noyaux magnétiques réalisés par découpage et empilement de la tôle selon l'invention, génère une diminution des pertes sans dégradation de l'aimantation, le recuit étant destiné à éliminer les contraintes internes dues au découpage. On peut ainsi réaliser des tôles ayant une épaisseur finale de 0,35 mm, qui après recuit post découpage ont des pertes magnétiques inférieures à 4,0 W/Kg avec une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla. On peut ainsi réaliser des tôles ayant une épaisseur finale de 0,50 mm, qui après recuit post découpage, ont des pertes massiques inférieures à 4,70 W/ Kg avec une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla. Dans certaines conditions, il est possible de réaliser des tôles ayant des pertes inférieures à 4W/Kg avec une aimantation supérieure à 1,80 Tesla. Ces performances sont essentiellement dues au fait que dans le procédé selon l'invention la tôle est soumise à un recuit statique avant laminage à froid.

L'invention comporte les étapes suivantes: un recuit statique avant laminage à froid, un laminage à froid en une seule opération, un recuit final comme présenté dans les exemples 6, 7, 8, 9, 10 et 11. Après découpe des éléments de circuit et empilement, il peut être effectué sur lesdits circuits un recuit d'élimination des contraintes internes.

Le recuit d'élimination des contraintes internes générées par découpage permet de réduire de façon significative les pertes sans aucune dégradation de l'aimantation de la tôle selon l'invention, la tôle ayant une épaisseur de 0,5 mm et 0,65 mm et n'ayant pas subi de recuit statique. On obtient ainsi des pertes massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz respectivement inférieures à 5,30 W/Kg et 7,0 W/Kg avec une aimantation égale ou supérieure à 1,75 Tesla sous un champ de 5000A/m. Avec recuit statique, la réduction des pertes est nettement plus importante.

L'exemple 12 illustre ce propos.

Exemple 12.

Les éprouvettes Epstein ayant une épaisseur de 0,35 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm, utilisées pour mesurer les caractéristiques magnétiques des tôles présentées dans les exemples 1, 6, 8, 9, et 10, ont été soumises à un recuit de 750°C pendant 2 heures sous une atmosphère d'azote et hydrogène.

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 16.

TABLEAU 16.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Exemple 1		
Tôle de 0,35 mm d'épaisseur sans recuit.	4,04	1,76
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur sans recuit.	5,80	1,76
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur sans recuit.	4,64	1,78
Tôle de 1 mm d'épaisseur sans recuit.	9,60	1,76

selon l'invention

Tôle de 0,50 mm d'épaisseur avec recuit selon l'invention :

Exemple 6.	4,13	1,80
Exemple 8.	3,80	1,82
Exemple 9.	4,15	1,79
Exemple 10.	3,62	1,80

Le recuit d'élimination des contraintes internes générées par le découpage ne permet pas de réduire de façon

significative les pertes de la tôle d'épaisseur 0,35 mm et 1 mm n'ayant pas subi de recuit statique.

Exemple 13.

Les éprouvettes Epstein utilisées dans l'exemple 11 pour mesurer les caractéristiques magnétiques sont soumises à un recuit à 750°C pendant deux heures sous atmosphère d'azote et d'hydrogène. Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 17.

TABLEAU 17.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Tôle de 0,35 mm d'épaisseur.	3,37	1,78
Tôle de 0,5 mm d'épaisseur.	3,94	1,79
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.	5,36	1,80
Tôle de 1 mm d'épaisseur selon l'invention.	10,62	1,80

Dans le cas où la tôle selon l'invention est réalisée avec un recuit statique après laminage à chaud, on peut ainsi obtenir des tôles ayant une épaisseur finale de 0,35 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et qui, après recuit post découpage ont respectivement des pertes massiques inférieures à 4 W/Kg, 4,70 W/Kg, 6 W/Kg et 11,5 W/Kg ainsi qu'une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla.

Sous une autre forme de l'invention, après laminage à chaud, la tôle laminée à chaud est soumise à un laminage à froid, le laminage à froid comprenant deux étapes avec un recuit intermédiaire et un recuit final. Il est montré que les pertes massiques, à 1,5 Tesla et 50 Hz, peuvent être réduites à des valeurs inférieures à 5,30 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,50 mm, à des valeurs inférieures à 7 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,65 mm, et à des valeurs inférieures à 11 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 1 mm, l'aimantation sous un champ de 5000 A/m étant supérieure à 1,72 Tesla. La bande de tôle laminée à chaud, sans recuit après laminage à chaud, est soumise, selon l'invention, à un laminage à froid, le laminage à froid comprenant deux étapes avec un recuit intermédiaire au défilé ou statique et un recuit final pouvant être un recuit rapide par exemple au défilé.

Le recuit statique effectué avant le laminage à froid peut être remplacé avantageusement par un recuit intermédiaire dans une opération de double laminage à froid.

L'invention se présente de ce fait en un procédé ne comportant pas de recuit statique avant laminage à froid mais un double laminage à froid avec recuit intermédiaire, statique de préférence.

L'exemple 14 illustre cette particularité de l'invention.

Exemple 14.

Une brame d'acier N°5 dont la composition chimique pondérale est donnée dans le tableau 18 est réchauffée à 1205°C puis subit un premier laminage à chaud avec un taux de réduction de 86%, et un second laminage à chaud avec un taux de réduction de 93%. La température de fin de laminage à chaud est de 845°C, la bande de tôle laminée à chaud étant bobinée à la température de 704°C. La tôle est ensuite soumise à un laminage à froid avec un taux de réduction de 10%. Une partie de la tôle est soumise à un recuit au défilé à une température de 880°C pendant 2 mn sous une atmosphère d'azote et d'hydrogène. L'autre partie de la tôle est soumise à un recuit statique à une température de 750°C pendant 2 heures également sous une atmosphère d'azote et d'hydrogène. Chaque partie de tôle est divisée en trois puis laminées à froid respectivement jusqu'à l'obtention de tôles d'épaisseur finale de 1, 0,65 et 0,50 mm, ce qui correspond respectivement à des taux de réduction à froid de 44%; 64%; et 72%. Les tôles sont ensuite soumises à un recuit final à une température de 880°C pendant 2 mn.

TABLEAU 18

(Acier n°5)					
C	Mn	Si	S	Al	P
0,003%	0,371%	0,325%	0,006%	0,001%	0,164%

Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 19.

TABLEAU 19.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/kg)	(Tesla)
Selon l'invention :		
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur.		
Recuit intermédiaire à 880°C /2 mn.	4,78	1,78
Recuit intermédiaire à 750°C /2h.	4,48	1,79
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur.		
Recuit intermédiaire à 880°C /2 mn.	5,76	1,78
Recuit intermédiaire à 750°C /2h.	5,69	1,79
Tôle de 1 mm d'épaisseur.		
Recuit intermédiaire à 880°C /2 mn.	9,37	1,75
Recuit intermédiaire à 750°C /2h.	9,11	1,75

La tôle d'épaisseur 1 mm caractérisée par un taux de deuxième réduction à froid légèrement supérieur à 40% possède une plus faible aimantation sous un champ de 5000 A/m que les tôles d'épaisseur 0,50 mm et 0,65 mm

Le recuit d'élimination des contraintes internes générées par le découpage permet de réduire de façon significative les pertes sans dégradation de l'aimantation de la tôle, la tôle ayant une épaisseur de 0,50 mm et 0,65 mm et ayant subi un double laminage à froid avec recuit intermédiaire sans recuit de la bande laminée à chaud.

Les éprouvettes Epstein utilisées dans l'exemple 14 pour mesurer les caractéristiques magnétiques sont soumises à un recuit à 750°C pendant deux heures sous atmosphère d'azote et d'hydrogène. Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 20.

TABLEAU 20.

	W 1,5/ 50	B5000
	(W/Kg)	(Tesla)
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur selon l'invention		
Recuit intermédiaire à 880°C/ 2 mn	4,10	1,78
Recuit intermédiaire à 750°C/ 2 h	4,00	1,79
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur selon l'invention		
Recuit intermédiaire à 880°C/ 2 mn	5,10	1,78
Recuit intermédiaire à 750°C/ 2 h	5,07	1,79
Tôle de 1 mm d'épaisseur selon l'invention		
Recuit intermédiaire à 880°C/ 2 mn	9,10	1,75
Recuit intermédiaire à 750°C/ 2 h	9,00	1,75

Il est ainsi montré sur le tableau 20 que les pertes massiques à 1,5 Tesla et 50 Hz sont réduites à des valeurs inférieures à 4,70 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,50 mm et à des valeurs inférieures à 6 W/Kg pour une épaisseur de tôle de 0,65 mm, sans dégradation de l'aimantation à 5000 A/m qui reste supérieure à 1,75 Tesla.

L'aimantation sous un champ de 5000 A/m est moins élevée pour l'épaisseur de tôle de 1 mm et le recuit d'élimination des contraintes réduit de façon moins importante les pertes à 1,5 Tesla et 50 Hz.

Si le taux de réduction du premier laminage à froid est supérieur à 50%, on ne constate pas de réduction des pertes ni d'amélioration de l'aimantation par rapport à un procédé comportant un laminage à froid en une seule opération, sans recuit de la tôle après le laminage à chaud. Si le taux de réduction du deuxième laminage à froid est supérieur à 40%, on constate une amélioration de l'aimantation.

Le recuit statique avant le laminage à froid de la bande laminée à chaud peut entraîner un grossissement exagéré du grain qui se traduit par une fragilité de la bande et des difficultés de laminage à froid. Le recuit statique après un premier laminage à froid permet de pallier ce problème.

Selon l'invention, il est montré qu'on peut parvenir avec un acier ayant une composition chimique déterminée à la réalisation de tôle magnétique possédant des propriétés remarquables:

- sans effectuer de recuit rapide de la tôle laminée à chaud, grâce à un meilleur contrôle de la température de fin

de laminage à chaud et de bobinage, et à condition de limiter la teneur en manganèse contenu dans la composition de l'acier.

- en effectuant un recuit statique de longue durée de la bande de tôle laminée à chaud suivi d'un seul laminage à froid.
- ou en soumettant la bande non soumise à recuit après laminage à chaud, à un double laminage à froid avec un recuit intermédiaire et un recuit final de courte durée.

Lorsque la tôle selon l'invention est laminée à chaud et soumise à un recuit statique de longue durée suivi d'un seul laminage à froid, ou à un double laminage à froid avec un recuit intermédiaire, elle présente à l'épaisseur 0,50 mm et 0,65 mm, une réduction sensible des pertes massiques et une amélioration de l'aptitude à l'aimantation.

A l'épaisseur 1 mm, le recuit statique avant laminage à froid permet d'augmenter l'aptitude à l'aimantation avec, en contrepartie une dégradation des pertes. Le double laminage à froid avec un recuit intermédiaire permet par contre une réduction des pertes avec en contre partie, une dégradation de l'aptitude à l'aimantation.

La tôle obtenue par le procédé peut être soumise, après découpe et assemblage des circuits magnétiques, à un recuit d'élimination des contraintes.

Ce recuit d'élimination des contraintes dues au découpage, provoque une réduction sensible des pertes sans dégradation de l'aptitude à l'aimantation:

- en l'absence de recuit initial et avec un seul laminage à froid,
- avec recuit statique de la bande laminée à chaud puis laminée à froid en une seule opération,
- en l'absence de recuit initial, et avec un double laminage à froid comprenant un recuit intermédiaire.

Revendications

1. Procédé de fabrication d'une tôle magnétique à grains non orientés à partir de l'élaboration sous vide d'un acier ayant dans sa composition moins de 0,5% de silicium, ledit acier, mis sous forme de brame, étant soumis successivement à :

une opération de laminage à chaud suivie d'un bobinage,
une opération facultative de grenailage,
une opération de décapage,
une opération de laminage à froid,
au moins un recuit,

caractérisé en ce que l'acier de composition suivante:

carbone < 0,01%
silicium < 0,5%,
manganèse, de 0,05 à 0,5%
aluminium < 0,03%,
phosphore < 0,20%,
soufre < 0,015%,
azote < 0,01%,
oxygène < 0,01%,

est soumis à un laminage à chaud avec une température de réchauffage de brame inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C, la bande laminée à chaud étant bobinée à une température supérieure à 550°C, puis laminée à froid, en au moins une opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, la bande laminée à froid étant soumise à un recuit final.

2. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce que le laminage à froid en une opération est réalisé sous un taux de réduction compris entre 25 et 90%.

3. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'il comprend en outre, après laminage à chaud, un recuit statique en bobine de la tôle à une température comprise entre 700 et 1050°C pendant un temps supérieur à 1 heure, le laminage à froid étant effectué en une seule opération sous un taux de réduction compris entre 25 et 90%, le recuit final étant effectué au défilé.

4. Procédé selon la revendication 1 caractérisé en ce qu'après laminage à chaud, la tôle laminée à chaud est soumise à un laminage à froid, le laminage à froid comprenant deux étapes avec un recuit intermédiaire et un recuit final.
- 5 5. Procédé selon les revendications 1 et 4 caractérisé en ce que la première étape de laminage à froid est effectuée avec un taux de réduction inférieur à 50%.
6. Procédé selon les revendications 1, 4 et 5 caractérisé en ce que la deuxième étape de laminage à froid est effectuée avec un taux de réduction supérieur à 40%.
- 10 7. Procédé selon les revendications 1 et 4 à 6 caractérisé en ce que le recuit intermédiaire, statique, est effectué à une température comprise entre 700 et 1050 °C, pendant un temps supérieur à 0,5 heure.
8. Procédé selon les revendications 1 et 4 à 6 caractérisé en ce que le recuit intermédiaire, au défilé, est effectué à une température comprise entre 700 et 1050 °C, pendant un temps inférieur à 10 minutes.
- 15 9. Procédé selon les revendications 1 à 8 caractérisé en ce que le recuit final au défilé est réalisé à une température comprise entre 700 et 1050 °C pendant un temps inférieur à 10 mn.
- 20 10. Procédé selon les revendications 1 à 9 caractérisé en ce que, en outre, après le recuit final on soumet la tôle préalablement découpée à un recuit d'élimination des contraintes.
11. Procédé selon la revendication 10 caractérisé en ce que le recuit d'élimination des contraintes est effectué à une température supérieur à 650 °C pendant un temps supérieur à 3 mn.
- 25 12. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 2 et 9, caractérisée en ce qu'avant le recuit d'élimination des contraintes, elle présente d'une part, des pertes totales massiques, à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 5 W/Kg, 6,0 W/Kg, 8,0 W/Kg et 11 W/Kg pour respectivement, une épaisseur d'environ 0,35 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, égale ou supérieure à 1,75 Tesla.
- 30 13. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 3 et 9 caractérisée en ce qu'avant recuit d'élimination des contraintes, elle présente d'une part, des pertes totales massiques, à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 4,5 W/Kg, 5,3 W/Kg, 7,0 W/Kg et 12,5 W/Kg pour respectivement, une épaisseur d'environ 0,35 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, égale ou supérieure à 1,77 Tesla.
- 35 14. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 4 à 9 caractérisée en ce qu'avant recuit d'élimination des contraintes, elle présente d'une part, des pertes totales massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 5,3 W/Kg, 7,0 W/Kg, et 11 W/Kg pour respectivement, une épaisseur d'environ 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, égale ou supérieure à 1,72 Tesla.
- 40 15. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 2 et 9 à 11 caractérisée en ce qu'après découpage et recuit d'élimination des contraintes elle présente d'une part, des pertes totales massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 7,0 W/Kg et, 5,30 W/Kg pour respectivement une épaisseur d'environ 0,65 mm et 0,50 mm; et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, égale ou supérieure à 1,75 Tesla.
- 45 16. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 3 et 9 à 11 caractérisée en ce qu'après découpage et recuit d'élimination des contraintes elle présente d'une part, des pertes totales massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 4,0 W/Kg, 4,70 W/Kg, 6,0 W/Kg, et 11,5 W/Kg pour respectivement, une épaisseur d'environ 0,35 mm, 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, égale ou supérieure à 1,77 Tesla.
- 50 17. Tôle d'acier magnétique selon les revendications 1, 4 à 11 caractérisée en ce qu'après découpage et recuit d'élimination des contraintes elle présente d'une part, des pertes totales massiques à 1,5 Tesla et 50 Hertz, inférieures à 4,7 W/Kg, 6,0 W/Kg et 10 W/Kg pour respectivement, une épaisseur d'environ 0,50 mm, 0,65 mm et 1 mm et d'autre part, une aimantation sous un champ de 5000 A/m, supérieure à 1,72 Tesla.
- 55

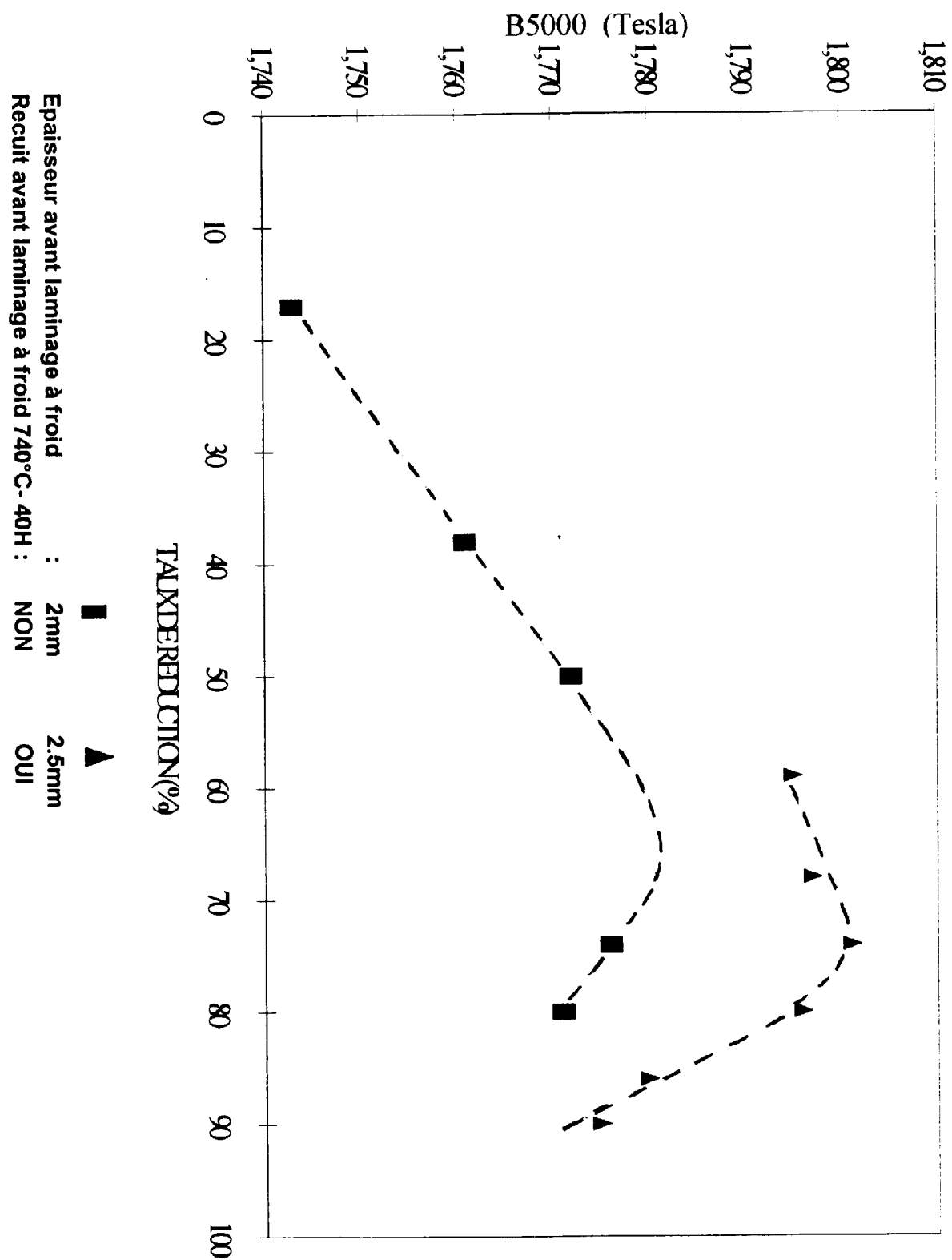


Fig unique



Office européen
des brevets

RAPPORT DE RECHERCHE EUROPEENNE

Numero de la demande

EP 97 40 0114

DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS			
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes	Revendication concernée	CLASSEMENT DE LA DEMANDE (Int.Cl.6)
A,D	EP 0 469 980 A (UGINE ACIERS DE CHATILLON ET GUEUGNON) * revendications 1-6 *	1	C21D8/12
A	EP 0 434 641 A (CENTRO SVILUPPO MATERIALI) * revendication *	1	
A	EP 0 490 617 A (KAWASAKI STEEL) * revendication 1 *	1	
A	DATABASE WPI Section Ch, Week 9523 Derwent Publications Ltd., London, GB; Class L03, AN 95-175539 XP002015338 & JP 07 097 628 A (NIPPON STEEL CORP) , 11 Avril 1995 * abrégé *	1	
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 016, no. 351 (C-0968), 29 Juillet 1992 & JP 04 107216 A (KOBE STEEL LTD), 8 Avril 1992, * abrégé *	1	DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHES (Int.Cl.6) C21D
Le présent rapport a été établi pour toutes les revendications			
Lieu de la recherche BERLIN		Date d'achèvement de la recherche 30 Avril 1997	Examineur Sutor, W
CATEGORIE DES DOCUMENTS CITES 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 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			

EPO FORM 1501 03.92 (P04C02)