



(12) **DEMANDE DE BREVET EUROPEEN**

(43) Date de publication:
03.11.2004 Bulletin 2004/45

(51) Int Cl.7: **C21D 8/12, C22C 38/02,
H01F 1/147**

(21) Numéro de dépôt: **04014453.7**

(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**

(62) Numéro(s) de document de la (des) demande(s)
initiale(s) en application de l'article 76 CBE:
97400114.1 / 0 786 528

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

(72) Inventeurs:
• **Poiret Philippe
62330 Isbergues (FR)**
• **Bertoni, André
48200 St. Chely d'Apcher (FR)**

• **Bavay, Jean-Claude
62330 Isbergues (FR)**
• **Hernandez, Jaques
48200 St. Chely d'Apcher (FR)**
• **Verdun, Jean
92150 Suresnes (FR)**

(74) Mandataire: **Plaisant, Sophie Marie
Usinor DIR-PI,
Immeuble "La Pacific" - TSA 10001
92070 La Défense Cédex (FR)**

Remarques:

Cette demande a été déposée le 21 - 06 - 2004
comme demande divisionnaire de la demande
mentionnée sous le code INID 62.

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

(57) Procédé de fabrication d'une tôle magnétique à grains non orientés comprenant les étapes consistant à :

- élaborer sous vide un 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%,

le reste étant du fer et des impuretés inévitables,

- mettre l'acier sous forme de brame,
- laminier à chaud la brame avec une température de réchauffage inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C,
- bobiner la bande laminée à chaud à une température supérieure à 550°C,
- soumettre la bande en bobine à un recuit statique

à une température comprise entre 700 et 1050°C pendant un temps supérieur à 1 heure,

- soumettre la bande recuite à une opération facultative de grenailage,
- soumettre la bande recuite et éventuellement grenillée, à une opération de décapage, puis
- laminier à froid la bande décapée, avec un taux de réduction compris entre 25 et 90%, en une seule opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, puis
- soumettre la bande laminée à froid à un recuit final effectué au défilé.

Description

[0001] La présente invention concerne un procédé de fabrication de tôle d'acier magnétique à grains non orientés.

5 **[0002]** 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.

10 **[0003]** 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.

[0004] 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.

15 **[0005]** 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.

[0006] Aussi, il est nécessaire de trouver un compromis, du point de vue composition, entre l'aimantation et les pertes.

20 **[0007]** 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.

25 **[0008]** 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.

[0009] 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.

30 **[0010]** 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.

[0011] Elle a pour objet un procédé de fabrication d'une tôle magnétique à grains non orientés comprenant les étapes consistant à :

35 - élaborer sous vide un acier de composition suivantes :

carbone < 0,01 %

40 silicium < 0,5%,

manganèse, de 0,05 à 0,5%

45 aluminium < 0,03%,

50 phosphore < 0,20%,

soufre < 0,015%;

55 azote < 0,01 %,

EP 1 473 371 A2

oxygène < 0,01 %,

le reste étant du fer et des impuretés inévitables,

- 5 - mettre l'acier sous forme de brame,
- laminier à chaud la brame avec une température de réchauffage inférieure à 1300°C, une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C,
- bobiner la bande laminée à chaud à une température supérieure à 550°C,
- 10 - soumettre la bande en bobine à un recuit statique à une température comprise entre 700 et 1050°C pendant un temps supérieur à 1 heure,
- soumettre la bande recuite à une opération facultative de grenailage,
- soumettre la bande recuite et éventuellement grenillée, à une opération de décapage, puis
- laminier à froid la bande décapée, avec un taux de réduction compris entre 25 et 90%, en une seule opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, puis
- 15 - soumettre la bande laminée à froid à un recuit final effectué au défilé.

Les autres caractéristiques de l'invention sont :

- 20 - le recuit final au défilé est réalisé à une température comprise entre 700 et 1050 °C pendant un temps inférieur à 10 mn.
- après le recuit final, on soumet la tôle préalablement découpée à un recuit d'élimination des contraintes qui peut être effectué à une température supérieure à 650 °C pendant un temps supérieur à 3 mn.

[0012] La description qui suit donnant une suite d'exemples de réalisation fera bien comprendre l'invention.

25 **[0013]** 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.

[0014] Selon l'invention, le procédé de fabrication d'un acier d'une tôle magnétique à grains non orientés comprend l'élaboration sous vide d'un acier de composition suivante :

30 carbone < 0,01 %

35 silicium < 0,5%,

manganèse, de 0,05 à 0,5%

40 aluminium < 0,03%,

phosphore < 0,20%,

45 soufre < 0,015%;

azote < 0,01 %,

50 oxygène < 0,01 %,

le reste étant du fer et des impuretés inévitables.

55 **[0015]** 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

EP 1 473 371 A2

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.

[0016] 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.

[0017] 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.

[0018] 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.

[0019] Après élaboration, l'acier est coulé sous forme de brame, puis la brame est laminée à chaud avec une température de réchauffage inférieure à 1300°C, et une température de fin de laminage à chaud inférieure à 950°C.

[0020] La tôle laminée à chaud est bobinée à une température supérieure à 550°C, puis est soumise à un recuit statique à une température comprise entre 700 et 1050°C pendant un temps supérieur à 1 heure.

[0021] Après l'étape de recuit statique, la bande peut subir une opération facultative de grenailage, avant d'être soumise à une opération de décapage.

[0022] Enfin, la bande décapée est laminée à froid, avec un taux de réduction compris entre 25 et 90%, en une seule opération de laminage à froid à une épaisseur inférieure ou égale à 1,5 mm, puis elle subit un recuit final effectué au défilé. Le recuit final au défilé est réalisé de préférence à une température comprise entre 700 et 1050°C, pendant un temps inférieur à 10 mn.

[0023] 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.

[0024] Les exemples 1 à 6 illustrent cette caractéristique.

Exemple 1.

[0025] Une brame d'acier N°4 dont la composition chimique pondérale est donnée dans le tableau 1 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 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 1

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

[0026] Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 2.

TABLEAU 2.

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

EP 1 473 371 A2

Exemple 2.

[0027] Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 1 est traitée de la même façon que l'acier de l'exemple 1, c'est-à-dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

[0028] 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.

[0029] Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 3.

TABLEAU 3.

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

Exemple 3.

[0030] Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 1 est traitée de la même façon que l'acier de l'exemple 1, c'est-à-dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

[0031] 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.

[0032] Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 4.

TABLEAU 4.

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

[0033] Dans les mêmes conditions de traitement, l'acier n°2, dont la composition est donnée dans le tableau 5, qui comporte dans sa composition une teneur en manganèse de 0,87% conduit à des propriétés magnétiques identiques à celles du tableau 4. La teneur en manganèse doit être cependant limitée à moins de 0,5% pour améliorer la conductibilité thermique.

[0034] A plus basse température de recuit statique, il est nécessaire d'augmenter la durée de celui ci.

TABLEAU 5

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

Exemple 4.

[0035] Un tronçon de la bobine de tôle laminée à chaud obtenue dans les conditions décrites dans l'exemple 2 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.

[0036] Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 6.

EP 1 473 371 A2

TABLEAU 6.

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

Exemple 5.

[0037] Une brame d'acier n°4 dont la composition pondérale est donnée dans le tableau 1 est traitée de la même façon que dans l'exemple 1, c'est à dire avec les mêmes taux de réduction à chaud et à froid.

[0038] 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 7.

TABLEAU 7.

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

Exemple 6.

[0039] Un tronçon de la bobine de tôle laminée à chaud obtenue dans les conditions décrites dans l'exemple 2 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.

[0040] 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.

[0041] La tôle de 1 mm d'épaisseur subit un recuit à une température de 880°C pendant 3 mn 40 s.

[0042] Le recuit final est effectué dans une atmosphère d'hydrogène et d'azote. Les caractéristiques magnétiques obtenues sont présentées dans le tableau 8.

TABLEAU 8.

Selon l'invention :	W 1,5/ 50 (W/kg)	B5000 (Tesla)
Tôle de 0,35 mm d'épaisseur	3,76	1,78
Tôle de 0,50 mm d'épaisseur	4,70	1,79
Tôle de 0,65 mm d'épaisseur	6,36	1,80
Tôle de 1 mm d'épaisseur	11,80	1,80

[0043] La figure unique montre que le taux de laminage à froid doit être inférieur à 90% pour obtenir une aimantation égale ou supérieure à 1,77 Tesla lorsqu'un recuit statique est réalisé après laminage à chaud.

[0044] 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,

EP 1 473 371 A2

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.

[0045] 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 1, 2, 3, 4, 5 et 6. Après découpe des éléments de circuit et empilement, il peut être effectué sur lesdits circuits un recuit d'élimination des contraintes internes.

[0046] 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.

[0047] De préférence, la tôle subit un recuit d'élimination des contraintes à une température supérieure à 650°C, pendant un temps supérieur à 3 mn.

[0048] L'exemple 7 illustre ce propos.

Exemple 7.

[0049] 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, 3, 4, et 5, ont été soumises à un recuit de 750°C pendant 2 heures sous une atmosphère d'azote et hydrogène.

[0050] Tôle de 0,50 mm d'épaisseur avec recuit selon l'invention :

Exemple 1	4,13	1,80
Exemple 3	3,80	1,82
Exemple 4	4,15	1,79
Exemple 5	3,62	1,80

Exemple 8.

[0051] Les éprouvettes Epstein utilisées dans l'exemple 6 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 9.

Tableau 9.

	W 1,5/ 50 (W/kg)	B5000 (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.

[0052] 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, en effectuant un recuit statique de longue durée de la bande de tôle laminée à chaud suivi d'un seul laminage à froid.

[0053] 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, 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.

[0054] 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.

[0055] La tôle obtenue par le procédé peut être soumise, après découpe et assemblage des circuits magnétiques, à un recuit d'élimination des contraintes.

[0056] Ce recuit d'élimination des contraintes dues au découpage, provoque une réduction sensible des pertes sans dégradation de l'aptitude à l'aimantation, avec recuit statique de la bande laminée à chaud puis laminée à froid en une seule opération.

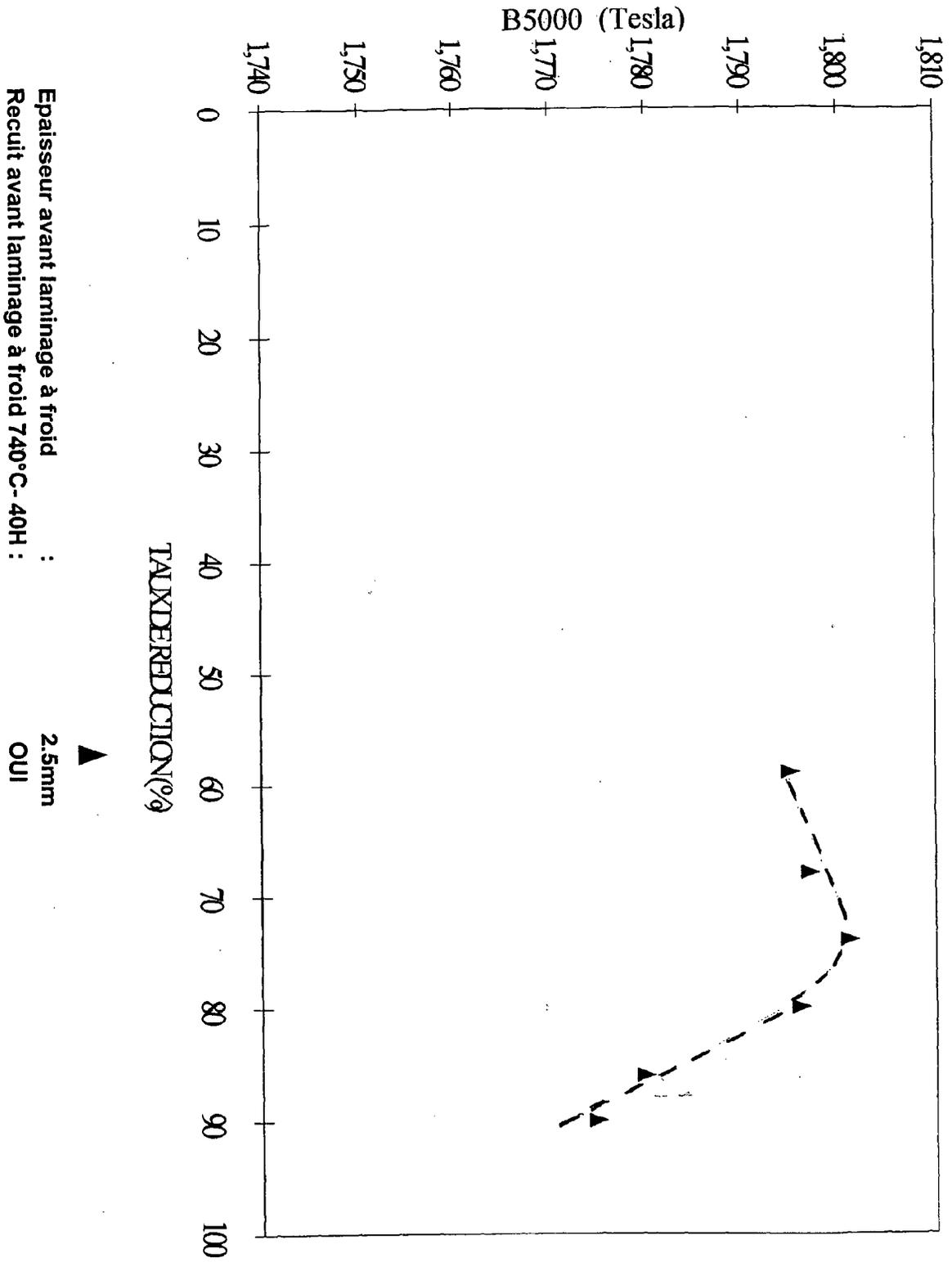


Fig unique