



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



Numéro de publication: **0 487 443 B1**

12

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

49 Date de publication de fascicule du brevet: **22.03.95** 51 Int. Cl.⁶: **C21D 8/12, C22C 38/00**

21 Numéro de dépôt: **91470036.4**

22 Date de dépôt: **18.11.91**

54 **Tôle en acier à usage électrique.**

30 Priorité: **19.11.90 FR 9014699**

43 Date de publication de la demande:
27.05.92 Bulletin 92/22

45 Mention de la délivrance du brevet:
22.03.95 Bulletin 95/12

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

56 Documents cités:
EP-A- 0 263 413 DE-B- 1 931 420
FR-A- 1 382 885 FR-A- 1 437 673
US-A- 3 867 211 US-A- 4 851 056

73 Titulaire: **SOLLAC S.A.**
Immeuble Elysées-la-Défense,
29, Le Parvis la Défense
F-92800 PUTEAUX (FR)

72 Inventeur: **Van Hoecke, Georges**
5, Promenade Leclerc
F-57100 Thionville (FR)
Inventeur: **Zozol, Christian**
24, rue de Boran
F-95270 Viarmes (FR)

74 Mandataire: **Ventavoli, Roger**
TECHMETAL PROMOTION
Ile de France - 4, place de la Pyramide
F-92070 PARIS-LA-DEFENSE Cédex 33 (FR)

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition (art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

L'invention concerne les tôles en acier à usage électrique, utilisées notamment pour la construction de transformateurs, de moteurs et d'alternateurs. Les produits habituellement élaborés pour ces usages sont traditionnellement divisés en trois catégories.

Les tôles "Fully Process" à grains orientés ont la particularité de contenir des teneurs élevées en silicium (de l'ordre de 3 %), et d'avoir une orientation de leur texture très marquée du type (110)-<001>, la direction 100 étant orientée selon la direction de laminage. C'est également selon cette direction que le champ magnétique ambiant est appliqué. Le silicium augmente la résistivité de la tôle et limite ainsi les pertes par courants de Foucault. Ces tôles sont appliquées notamment à la fabrication de transformateurs de puissance. Les tôles "Fully Process" à grains non orientés contiennent du silicium dans des proportions qui peuvent être plus faibles que pour les précédentes (0,5 à 3,2 %), et également 0,3 à 0,5 % d'aluminium. Ce dernier élément a le même rôle que le silicium dans la limitation des pertes par courants de Foucault, et sa substitution partielle au silicium permet de ne pas trop augmenter la fragilité du métal. Comme ces tôles sont destinées à des machines tournantes (moteurs, alternateurs) de puissance moyenne ou forte, il n'est pas souhaitable qu'elles présentent une texture directionnelle. On peut leur appliquer une isolation superficielle par vernissage.

Ces deux catégories de tôles sont utilisables par les clients directement dans l'état de livraison du producteur, sans qu'un traitement thermique ultérieur soit nécessaire pour obtenir les propriétés magnétiques visées. Ce n'est pas le cas des tôles dites "Semi Process", utilisées dans des appareils de faible à moyenne puissance : moteurs d'appareils électroménagers petits et moyens, transformateurs, alternateurs d'automobiles, etc... Ces aciers contiennent 0,030 à 0,050 % de carbone, 0,2 à 0,7 % de manganèse, 0,020 à 0,0160 % de phosphore et éventuellement jusqu'à 1,2 % de silicium. Ils subissent un laminage à chaud et à froid, puis un recuit continu suivi d'un passage au skin pass pour écrouir le métal par une déformation de 4 à 10 % afin d'augmenter leur limite d'élasticité. C'est sous cette forme que les tôles sont expédiées au client. Mais à ce stade, leurs propriétés magnétiques sont médiocres, car elles ont été dégradées par l'écrouissage. Cet écrouissage est cependant nécessaire pour que le métal puisse être aisément découpé par le client. Celui-ci doit ensuite imposer au produit un traitement thermique (recuit à 800 °C environ) visant à le décarburer jusqu'à une teneur en carbone inférieure à 0,005 %, à augmenter sa taille de grain (opération facilitée par l'écrouissage

qui a été réalisé par le skin pass), et éventuellement à l'isoler, ce qui peut être fait par une oxydation superficielle.

Ce mode opératoire oblige à multiplier les étapes du traitement, ce qui est long et coûteux. De plus les dernières étapes doivent être conduites sur des produits découpés, ce qui entraîne une productivité de l'installation moindre que si elles étaient effectuées par le producteur au cours du cycle de fabrication de la tôle.

On a déjà proposé (voir les documents US 3867211 et FR 1437673) de raccourcir ce traitement en obtenant directement la très basse teneur en carbone désirée au sein du métal encore liquide, par décarburation sous vide de celui-ci. Le recuit n'a donc plus besoin d'être un recuit décarburant, et peut être conduit en atmosphère neutre ou réductrice. Subsiste cependant le problème de la découabilité des produits obtenus, qui doit être optimisée pour satisfaire les exigences de l'utilisateur final.

Le but de l'invention est de proposer des tôles pour appareils électriques de puissance faible à moyenne présentant une excellente découabilité, et fabriquée selon une filière courte et économique.

A cet effet, l'invention a pour objet une tôle en acier à usage électrique du type comportant moins de 0,005 % en poids de carbone, 0,1 à 0,7 % en poids de manganèse et au moins 0,2 % en poids de silicium, caractérisée en ce qu'elle est fabriquée comme suit :

- on élabore, coule et lamine sous forme de tôle un acier dont la teneur en carbone est inférieure à 0,005 % en poids, et dont la somme des teneurs en phosphore et en silicium est comprise entre 0,420 et 0,570 % en poids ;
- puis on fait subir auxdites tôles un traitement de recuit continu sous atmosphère neutre à une température prise dans la gamme 800 à 900 °C environ et de manière à rester en dessous du point du point de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$ de la nuance d'acier traité. Comme on l'aura compris, le procédé consiste d'une part à obtenir directement à l'aciérie la teneur en carbone finale désirée pour la tôle, et d'autre part à faire subir à celle-ci, après son laminage à froid, un recuit permettant de lui donner des propriétés magnétiques satisfaisantes, sans que des traitements thermomécaniques ultérieurs soient forcément nécessaires, et enfin à donner au produit une composition telle que ses propriétés mécaniques le rendent aisément découable.

L'invention sera mieux comprise à la lecture de la description qui suit.

L'évolution des techniques d'aciérie a rendu possible, ces dernières années, l'obtention de te-

neurs en carbone extrêmement basses dans l'acier liquide, y compris en production de masse sur des installations pouvant traiter simultanément plus de 300 t de métal. Les différents types de filières d'élaboration permettant de garantir des teneurs inférieures à 0,005 %, voire même souvent inférieures à 0,003 %, et de conserver ces teneurs jusqu'à la solidification du métal, sont détaillées dans l'article "Elaboration d'aciers à ultra-basses teneurs en carbone et en azote " (Revue de Métallurgie-CIT, janvier 1990 pp. 63-77 et février 1990 pp. 145-155). Ces filières nécessitent l'usage d'un appareil permettant de dégazer l'acier liquide sous vide, de préférence un réacteur de type RH ou DH.

Selon l'invention, on utilise une telle filière pour élaborer et couler sous forme de lingots ou de brames un acier dont la teneur en carbone ne dépasse pas 0,005 %. Sa teneur en silicium est supérieure à 0,2 %. Il faut qu'elle soit inférieure à 0,6 % pour éviter une oxydation superficielle du produit qui détériorerait les outils de laminage. Sa teneur en manganèse est comprise entre 0,1 et 0,7 %. De préférence, cet acier est exempt d'aluminium pour que l'azote ne soit pas piégé sous forme de nitrures et participe au durcissement.

Il faut également donner à cet acier une teneur en phosphore qui lui procure un excellent comportement lors de sa découpe. Les inventeurs ont déterminé qu'une condition à respecter pour obtenir un tel comportement était de respecter la condition suivante : la somme des teneurs en silicium et en phosphore doit être comprise entre 0,420 et 0,560 %. Dans ces limites, on obtient pour la tôle après traitement thermique un rapport entre la limite élastique R_e et la résistance à la traction R_m d'une valeur égale à au moins 0,71, ce qui est très favorable à une bonne déocupabilité du matériau. Toutes ces valeurs sont exprimées en pourcentages pondéraux.

En procédant ainsi, on obtient donc directement un demi-produit dont la composition, en particulier la teneur en carbone, est semblable à celle du produit final désiré, sans qu'il soit ultérieurement nécessaire de pratiquer un recuit décarburant sur les pièces découpées.

Une fois obtenues les brames, celles-ci subissent un schéma de laminage identique à ceux habituellement pratiqués, de manière à obtenir des tôles dont l'épaisseur est généralement de 0,5 à 1 mm. Les épaisseurs 0,5 et 0,65 mm sont les plus courantes. Ces tôles subissent ensuite une opération de recuit continu, de préférence sur une ligne à brins verticaux pour tôles minces, qui diffère de l'opération habituellement pratiquée après le skin-pass sur les points suivants :

- la phase de maintien s'effectue sous une atmosphère neutre et à une température de 800 à 900 °C pendant 30 s à 1 min (pour une

épaisseur de tôle de 0,5 à 1 mm), contre une atmosphère décarburante et une température de 800 °C environ ;

- la phase de surveilléissement à 350-450 °C, qui a normalement pour but de précipiter le carbone, est désormais facultative puisque la teneur résiduelle en carbone est très faible (de l'ordre de 10 fois moindre que la teneur habituelle).

Dans la production conventionnelle de tôles semi-process, le choix de températures de recuit habituelles de 700 à 750 °C pour l'opération de recuit précédant le skin-pass est guidé par l'obtention de la recristallisation après laminage à froid. Pour les tôles selon l'invention, le recuit est réalisé dans des conditions permettant la croissance de grains recristallisés. Une température élevée est donc souhaitable mais elle ne doit cependant pas faire dépasser à la tôle le point de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$ typique de la nuance traitée. La structure de la tôle doit donc demeurer entièrement ferritique. Pour les nuances les plus courantes, une température de 850 °C est bien adaptée, mais les nuances les plus décarburées et les plus chargées en silicium et en phosphore peuvent supporter des températures de 900 °C sans subir d'austénitisation. Quant à la durée du traitement lors de ce recuit, elle doit simplement être suffisante pour que le grossissement du grain affecte l'ensemble du produit, et est donc fonction de l'épaisseur de la tôle. Pour les épaisseurs classiques de 0,5 à 1 mm, un recuit d'une durée de 30 s à 1 min est bien adapté.

Traditionnellement, les tôles semi-process dans leur état final sont classées selon le niveau de leurs performances magnétiques en deux catégories définies par les normes AFNOR NFC 28295 (pour les tôles sans silicium) et NFC 28926 (pour les tôles alliées au silicium). A cette dernière correspondent les performances les meilleures du point de vue des pertes totales spécifiques. L'appartenance d'une tôle semi-process à l'une ou l'autre de ces catégories dépend notamment de sa composition : les tôles les plus chargées en éléments d'alliage (notamment en silicium qui permet de réduire les pertes par courants de Foucault) se retrouvent généralement dans la 2ème catégorie. En revanche la perméabilité magnétique diminue quand on passe des aciers non alliés aux aciers alliés, ce qui peut constituer un inconvénient.

A titre d'exemple, on peut dire que des tôles selon l'invention, de composition (en % pondéraux) $C < 0,005$ %, $Mn = 0,3-0,45$ %, $Si = 0,2-0,38$ %, $P = 0,15-0,19$ %, $Al < 0,005$ %, $S < 0,015$ %, $N < 0,009$ %, d'épaisseur 0,50 mm, ont des pertes totales spécifiques maximales de l'ordre de 7W/kg à 1,5 T. Les tôles fabriquées selon l'invention ont donc à l'état brut des performances magnétiques intermédiaires entre celles des tôles classiques de la

catégorie non alliée appelées FeV 890-50HD et FeV 660-50HD qui ont respectivement des pertes totales spécifiques maximales de 8,9 et 6,6 W/kg à 1,5 T. Ces tôles ont donc utilisables directement par les clients pour un grand nombre d'applications, de manière analogue aux tôles "Fully Process". Si le client juge les performances du produit encore insuffisantes pour les applications qu'il envisage, il a également la possibilité de réaliser un traitement thermique d'amélioration sur la tôle qui aura été préalablement légèrement écrouie afin de ne pas trop dégrader les propriétés magnétiques. Les tôles ainsi traitées se retrouvent alors avec des performances au moins égales aux tôles classiques FeV-50HE de la catégorie des aciers alliés du point de vue des pertes totales spécifiques (c'est-à-dire égales ou inférieures à 4,5 W/kg à 1,5 T pour une épaisseur de 0,50 mm), et offrent même une meilleure perméabilité magnétique que celles-ci, et ce pour des teneurs en silicium moindres.

Du point de vue de la découpeabilité, ces tôles ont un rapport Re/Rm d'au moins 0,71. Une teneur en silicium de 0,32 % accompagnée par une teneur en phosphore de 0,18 % procure, de ce point de vue, d'excellents résultats, à savoir un rapport Re/Rm de 0,76.

Les tôles décrites permettent d'abaisser les coûts de production des tôles à usage électrique pour appareils de faible à moyenne puissance en raccourcissant leur filière de fabrication, et en diminuant la quantité d'éléments d'alliage à introduire dans le métal liquide, à performances au moins égales pour le produit final. En outre elles présentent un excellent comportement lors de leur découpe, et sont donc faciles à mettre en oeuvre par leur utilisation final.

Revendications

1. Tôle en acier à usage électrique du type comportant moins de 0,005 % en poids de carbone, 0,1 à 0,7 % en poids de manganèse et au moins 0,2 % en poids de silicium, caractérisée en ce qu'elles sont fabriquées comme suit :
 - on élabore, coule et lamine sous forme de tôle un acier dont la teneur en carbone est inférieure à 0,005 % en poids, et dont la somme des teneurs en phosphore et en silicium est comprise entre 0,420 et 0,570 % en poids ;
 - puis on fait subir à ladite tôle un traitement de recuit continu sous atmosphère neutre à une température prise dans la gamme 800 à 900 °C environ, et de manière à rester en dessous du point de transformation $\alpha \rightarrow \gamma$ de la nuance d'acier traitée.

2. Tôle selon la revendication 1, caractérisée en ce que ladite tôle comporte de 0,27 à 0,38 % en poids de silicium et à 0,15 à 0,19 % en poids de phosphore.

Claims

1. Steel sheet for electrical applications, of the type including less than 0.005% by weight of carbon, 0.1 to 0.7% by weight of manganese and at least 0.2% by weight of silicon, characterized in that it is manufactured as follows:
 - a steel, the carbon content of which is less than 0.005% by weight and the sum of the phosphorus and silicon contents of which is between 0.420 and 0.570% by weight, is smelted, cast and rolled into the form of a sheet;
 - the said sheet is then subjected to a continuous annealing treatment under a neutral atmosphere at a temperature taken within the range of approximately 800 to 900 °C and so as to remain below the $\alpha \rightarrow \gamma$ transformation point of the treated grade of steel.
2. Sheet according to Claim 1, characterized in that the said sheet includes from 0.27 to 0.38% by weight of silicon and from 0.15 to 0.19% by weight of phosphorus.

Patentansprüche

1. Stahlblech für elektrische Zwecke, das wenigstens 0,005 Gew.-% Kohlenstoff, 0,1 bis 0,7 Gew.-% Mangan und wenigstens 0,2 Gew.-% Silizium aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß es wie folgt hergestellt wird:
 - Erschmelzen, Gießen und Walzen in Blechform eines Stahls dessen Gehalt an Kohlenstoff kleiner als 0,005 Gew.-% ist und dessen Summe an Gehalten an Phosphor und Silizium zwischen 0,420 und 0,570 Gew.-% liegt;
 - anschließendes Unterwerfen dieses Bleches einer kontinuierlichen Nachglühbehandlung in einer neutralen Atmosphäre bei einer Temperatur im Bereich von ungefähr 800 bis 900 °C derart, daß es unterhalb des Umwandlungspunktes $\alpha \rightarrow \gamma$ der verarbeitenden Stahlsorte verbleibt.
2. Blech nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß es 0,27 bis 0,38 Gew.-% Silizium und 0,15 bis 0,19% Phosphor aufweist.