

PF



MINISTÈRE DES AFFAIRES ÉCONOMIQUES

N° 885.780

Classif. Internat.: C 22 F | H 01 F

Mis en lecture le: 16-02-1981

Le Ministre des Affaires Économiques,

Vu la loi du 24 mai 1854 sur les brevets d'invention;

Vu la Convention d'Union pour la Protection de la Propriété Industrielle;

Vu le procès-verbal dressé le 17 octobre 1978 à 15 h. 30

au Service de la Propriété Industrielle ;

ARRÊTE :

Article 1. — *Il est délivré à la Sté dite : NIPPON STEEL CORPORATION
6-3, Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo (Japon)*

repr. par le Bureau Gevers S.A. à Bruxelles

*un brevet d'invention pour : Noyaux de fer pour machines et appareils
électriques, ainsi que leur production*

*qu'elle déclare avoir fait l'objet de demandes de brevet
déposées au Japon le 19 octobre 1979 n° 134237/79, le 11
décembre 1979 n°s 160501/79 et 160502/79 et le 25 janvier
1980 n° 7477/80.*

Article 2. — *Ce brevet lui est délivré sans examen préalable, à ses risques et
périls, sans garantie soit de la réalité, de la nouveauté ou du mérite de l'invention, soit
de l'exactitude de la description, et sans préjudice du droit des tiers.*

*Au présent arrêté demeurera joint un des doubles de la spécification de l'invention
(mémoire descriptif et éventuellement dessins) signés par l'intéressé et déposés à l'appui
de sa demande de brevet.*

Bruxelles, le 14 novembre 1978

PAR DÉLÉGATION SPÉCIALE:

Le Directeur

L. SALPETEUR

885700

MEMOIRE DESCRIPTIF

déposé à l'appui d'une demande de

FREVET D'INVENTION

au nom de :

NIPPON STEEL CORPORATION

pour :

"Noyaux de fer pour machines et appareils électriques, ainsi que leur production"

Priorité de quatre demandes de brevet au Japon déposées les 19 octobre 1979 sous le n° 134237/79, 11 décembre 1979 sous les Nos 160501/79 et 160502/79, et 25 janvier 1980 sous le n° 7477/80.

7

La présente invention est relative à des noyaux de fer pour machines et appareils électriques, ainsi qu'à la production de ces noyaux.

L'expression "machines et appareils électriques" que l'on utilise dans le cas présent désigne collectivement des appareils dont une partie constitutive est un circuit magnétique, et il s'agit notamment des transformateurs, des génératrices et des moteurs électriques.

Habituellement, on utilise pour le noyau de fer de tels appareils et machines électriques, une tôle d'acier électromagnétique à grains orientés ou une tôle d'acier électromagnétique à grains non orientés. La tôle d'acier électromagnétique à grains orientés est constituée de grains cristallins qui ont une texture dite de Gauss et qui présentent une orientation (110) [CO.] exprimée par l'indice Miller. Cette désignation indique que le plan (110) des grains cristallins est parallèle à la surface de la tôle, tandis que l'axe [001] des grains cristallins, c'est-à-dire la direction d'aimantation facile, est parallèle à la direction du laminage. De ce fait, les propriétés magnétiques de la tôle d'acier électromagnétique à grains orientés sont excellentes dans la direction du laminage et elles sont détériorées soudainement lors d'un écart angulaire par rapport à cette direction de laminage. La tôle d'acier électromagnétique à grains orientés est par conséquent découpée ou ébauchée de manière que la direction du flux magnétique à travers le noyau de fer de la machine ou de l'appareil électrique coïncide avec la direction du laminage.

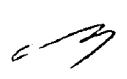
L'expression "ébauche pour machines et appareils électriques" que l'on utilise ici désigne une tôle d'acier électroma-

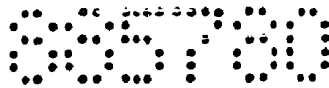


gnétique habituellement utilisée sous une forme déjà profilée pour noyaux de fer des machines et appareils électriques, tels que le noyau de fer des transformateurs et le noyau de fer des machines rotatives grandes et moyennes.

Il est également nécessaire, dans la construction du noyau de fer des transformateurs, que la direction d'aimantation du noyau de fer coïncide avec la direction de laminage de la tôle d'acier électromagnétique à grains orientés. Toutefois, cette exigence dans le noyau du transformateur ne peut pas être totalement satisfaite car on utilise, dans la plupart des cas, un noyau feuilleté ou stratifié pour des transformateurs de grandes et de moyennes dimensions afin d'éliminer les restrictions limitant le rendement opératoire de fabrication des noyaux de transformateur. Il existe, dans un noyau feuilleté, des parties dans lesquelles la direction d'aimantation dévie par rapport à la direction de laminage et ces parties ne sont pas négligeables, en particulier dans un transformateur triphasé, ce que l'on expliquera grâce à un exemple de transformateur du type comprenant un noyau à trois membres ou branches.

Si on se reporte à la Figure 1, on y a illustré un exemple du processus de feuilletage ou stratification pour un noyau bien connu à trois branches. Les lignes en trait plein et en trait interrompu de la Figure 1 désignent respectivement la couche supérieure et la couche immédiatement inférieure des ensembles feuilletés en tôles d'acier. Lorsque le feuilletage tel qu'illustré par la Figure 1 est répété de manière alternée, le noyau feuilleté est complété. Autour des trois branches A du noyau en fer, on forme l'enroulement primaire et l'enroulement secondaire pour chaque phase du courant triphasé. Au joint





existant entre les deux branches extérieures A et les culasses B, là où est formé un joint dit à 45°, la direction d'aimantation coïncide essentiellement avec la direction de laminage indiquée par les flèches, sauf pour les zones se trouvant entre la ligne de liaison de la couche supérieure et de la culasse et la ligne de liaison de la couche inférieure et de la culasse (c'est-à-dire les zones comprises entre les lignes adjacentes en trait plein et en trait interrompu). En outre, la direction d'aimantation ne coïncide pas avec la direction de laminage à proximité directe des lignes de liaison (les lignes en trait plein et en trait interrompu). Toutefois, aux joints T (indiqués par les hachures sur la Figure 2) formés aux deux extrémités de la branche centrale A, un flux magnétique rotatif est créé de sorte que la perte d'énergie, que l'on désignera ci-après par perte en watts, dans les joints T est fortement accrue. La perte en watts maximale dans les joints T s'élève à un niveau qui est de 2 à 3 fois la perte en watts existant dans l'ébauche ou flan d'élément pour machine ou appareil électrique, d'après les résultats obtenus de plusieurs expériences réalisées.

Les inventeurs ont mesuré la perte d'énergie ou perte en watts dans plusieurs zones d'un transformateur prototype et un exemple des résultats d'une telle mesure est illustré par la Figure 3. Les courbes désignées par des numéros sur cette Figure 3 correspondent à la perte en watts relative correspondant à ces numéros, 100 désignant la perte en watts maximale dans les joints T. Comme cela apparaît de la Figure 3, la perte en watts est la plus élevée à la partie centrale des zones de connexion en T, la perte en watts y étant de plus de 2 fois celle existant dans les branches ou membres.



Le Tableau 1 présenté ci-après donne la perte en watts (a) aux branches, la perte en watts maximale (b) aux joints T et le rapport b/a pour les trois transformateurs prototypes suivants. On a créé trois transformateurs en utilisant respectivement une tôle en acier électromagnétique sans orientation, une tôle en acier électromagnétique traditionnelle à grains orientés et une tôle en acier électromagnétique à grains orientés et d'une haute densité de flux magnétique. Les valeurs des pertes en watts présentées par le Tableau 1 ont été mesurées à une fréquence de 60 Hz et à une densité de flux magnétique de 1,7 T, sauf pour ce qui concerne la tôle en acier électromagnétique sans orientation, la densité étant dans ce cas de 1,5 T.

Tableau 1

Matières	Perte en watts (a) aux branches (w/kg)	Perte en watts maximale (b) aux joints T (w/kg)	b/a
Tôle d'acier électromagnétique à grains non orientés	1,99	3,34	1,68
Tôle d'acier électromagnétique traditionnelle à grains orientés	1,72	3,44	2,00
Tôle d'acier électromagnétique à grains orientés et à haute intensité de champ magnétique	1,45	3,57	2,46

Ce Tableau 1 illustre qu'à un degré plus élevé d'orientation des grains, le degré de détérioration de la perte en watts aux joints T est plus sévère.

Des sections de tôle d'acier ont été profilées et agencées de diverses manières suivant les méthodes de feuilletage dé-

jà proposées de manière à maintenir la perte en watts à un niveau faible aux joints T. Le profil et l'agencement des sections de tôle d'acier, que l'on a illustrées sur la Figure 1, sont considérés comme constituant la méthode de feuilletage la plus efficace à l'heure actuelle. Toutefois, même dans cette méthode de feuilletage, la détérioration de la perte en watts aux joints T est notable lorsque les propriétés magnétiques de l'acier électromagnétique à grains orientés sont améliorées par rapport à celles de l'acier électromagnétique traditionnel à grains orientés.

Les propriétés magnétiques de la tôle en acier électromagnétique à grains orientés sont utilisées de la manière la plus efficace pour les noyaux de transformateur, lorsque ces transformateurs sont du type à noyau bobiné. Le noyau feuilleté dont il a été question ci-dessus est toutefois préférable du fait des opérations difficiles d'enroulement pour les noyaux du type bobiné. Comme les noyaux du type CI ou du type EI comprennent deux côtés perpendiculaires entre eux, l'axe d'aimantation facile est dirigé le long de l'un ou l'autre mais pas selon ces deux côtés. Pour éviter que la direction d'aimantation facile ne se situe que suivant l'un ou l'autre côté, les éléments du type C ou E du noyau de fer doivent être constitués exclusivement par des éléments du type I. Dans ce cas, cependant, des parties aboutées existent entre un certain nombre des éléments du type I et le jeu inévitable existant à l'endroit de ces parties aboutées est la cause d'une réluctance élevée.

Comme une tôle en acier électromagnétique à double orientation ne peut toutefois pas être produite en série à un faible prix à l'heure actuelle, une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, qui est bien adaptée à une production en



série à faible prix, devrait donc être utilisée pour les noyaux du type CI ou EI. Les inventeurs ont par conséquent désiré développer un procédé de traitement des ébauches ou flans pour les machines et appareils électriques, ce procédé étant capable d'améliorer les propriétés des noyaux du type EI ou CI afin que ces propriétés se rapprochent de celles d'un noyau bobiné.

Le stator et le rotor des machines rotatives sont habituellement constitués d'un noyau feuilleté qui est fabriqué par estampage d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés pour former les éléments de noyau d'une forme prédéterminée, avec ensuite feuilletage des éléments de noyau jusqu'à obtention d'une épaisseur prédéterminée et ensuite assemblage du noyau feuilleté. Chaque élément de noyau de fer du rotor est annulaire et comporte un certain nombre de dents tout autour de sa circonférence extérieure, tandis que chaque élément de noyau de fer du stator est annulaire et comporte un certain nombre de dents tout autour de sa circonférence interne. Le flux magnétique passe radialement à travers les dents et de manière circulaire tout autour de la culasse des éléments de noyau de fer. L'application de l'acier électromagnétique à grains orientés au noyau de fer des machines rotatives soulève un problème, à savoir que le flux magnétique ne passe pas dans une direction déterminée mais bien suivant n'importe quelle direction sur 360°. On a par conséquent utilisé une tôle en acier électromagnétique non orientée pour le noyau de fer des machines rotatives.

Les dimensions de ces éléments du noyau de stator annulaire d'une grande machine rotative sont trop importantes pour permettre un estampage direct et complet dans une tôle d'acier. Chaque élément de noyau est par conséquent subdivisé en un cer-



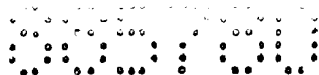
tain nombre d'éléments en éventail et ces éléments en éventail sont estampés dans la tôle d'acier. puis assemblés à une forme annulaire, les éléments annulaires assemblés étant feuilletés jusqu'à obtention de l'épaisseur requise pour le noyau de stator annulaire. La fabrication décrite ci-dessus est une méthode courante qui permet d'aligner la culasse ou les dents sensiblement dans la direction du laminage et, de ce fait, d'utiliser une tôle en acier électromagnétique à grains orientés pour le noyau annulaire de stator.

Cette méthode d'alignement des dents ou bien de la culasse dans la direction de laminage soulève toutefois une difficulté, à savoir que le flux magnétique dans l'autre de ces éléments est orienté suivant la direction [100]. On a prévu des moyens métallurgiques pour supprimer cet inconvénient mais la tôle en acier électromagnétique à double orientation que l'on a créée pour éviter cette difficulté ne peut pas être produite en série à un faible prix comme on l'a déjà expliqué.

Un but de la présente invention est de prévoir un noyau de fer pour machine ou appareil électrique présentant une faible perte en watts, dans les cas où, en raison de la forme du noyau de fer, il est difficile d'amener la direction du flux magnétique à coïncider avec la direction de laminage d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés.

Un autre but de la présente invention est de prévoir un noyau de fer utilisant une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, noyau dans lequel la dépendance de la perte en watts par rapport à la direction de l'aimantation est presque équivalente à la dépendance existant dans une tôle en acier électromagnétique non orientée ou à double orientation.





Un autre but encore de la présente invention est de prévoir une méthode permettant de réduire la perte en watts par des moyens non métallurgiques mais plutôt par des moyens physiques.

Un but supplémentaire de la présente invention est de prévoir un procédé de ce genre pour la production d'un noyau de fer, qui soit capable de réduire la perte en watts aux endroits de ce noyau de fer où un flux magnétique rotatif est engendré.

Suivant la présente invention, on prévoit un noyau de fer pour appareil ou machine électrique, tel qu'un transformateur, une génératrice ou un moteur électrique, ce noyau comprenant au moins une section d'acier qui présente une forme prédéterminée en tant qu'élément de la machine ou de l'appareil électrique, qui est en outre faite d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés et qui présente sur sa surface des marques créées par une irradiation par un rayon laser.

On a également prévu, suivant l'invention, un procédé de production d'un noyau de fer pour machine ou appareil électrique, ce procédé comprenant les phases suivantes : la transformation d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés en sections d'acier présentant la forme prédéterminée des éléments du noyau de fer ; l'irradiation, avec ou sans recuit de détente, (a) des parties des sections d'acier, où le flux magnétique doit passer presque parallèlement à la direction de laminage, de manière que les zones à irradiation par laser soient sensiblement dans la direction transversale au laminage, et (b) des parties des sections d'acier, où le flux magnétique doit passer sensiblement perpendiculairement à la direction de laminage, de manière que les zones à irradiation par laser soient



sensiblement dans cette direction du laminage. On propose en outre un procédé comprenant les phases suivantes : la conformation d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés en sections d'acier ayant la forme prédéterminée des éléments du noyau de fer ; et l'irradiation par un rayon laser d'une ou des parties de ces sections d'acier, où un flux magnétique rotatif est engendré.

L'expression "zone à irradiation par laser" que l'on a utilisée ci-dessus et que l'on emploiera par la suite désigne les parties des sections de tôle d'acier, qui ont été irradiées par le rayon laser et sur lesquelles les marques dues à l'irradiation par ce rayonnement laser ont été formées.

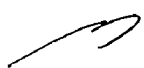
La direction perpendiculaire à la direction de laminage est parfois désignée aussi par direction transversale au laminage.

L'invention sera expliquée de façon plus détaillée encore ci-après avec référence aux dessins annexés.

La Figure 1 illustre une méthode de feuilletage pour la fabrication d'un noyau de transformateur, que l'on considère à l'heure actuelle comme étant la plus efficace pour la réduction de la perte en watts. Les flèches sur la Figure 1 désignent la direction de laminage de la tôle d'acier à partir de laquelle les ébauches ou flans ont été formés.

La Figure 2 illustre les joints en T d'un noyau de transformateur, ces joints étant désignés par les zones hachurées en petits points.

La Figure 3 illustre la répartition de la perte en watts dans un transformateur triphasé prototype, cette répartition étant indiquée par les lignes représentées, la perte en



watts étant donnée par une valeur relative basée sur la supposition que la perte en watts la plus élevée est de 100.

Les Figures 4A, 4B et 4C illustrent un schéma ou contour d'irradiation par rayon laser.

Les Figures 5A et 5B illustrent une raison de la réduction de la perte en watts.

La Figure 6 illustre une trace de l'irradiation par rayon laser à l'endroit d'un joint T d'un noyau de transformateur.

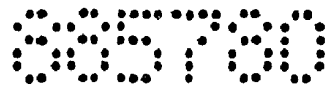
Les Figures 7A à 7D illustrent un schéma ou contour d'irradiation par rayon laser pour des éléments de noyau du type EI ou CI.

Les Figures 8A à 8D illustrent un schéma ou contour d'irradiation par rayon laser dans le cas du noyau de stator d'une grande machine rotative.

La Figure 9 illustre un schéma ou contour d'irradiation des éléments de noyau du type en éventail, appartenant à des noyaux de stator du type subdivisé.

Comme on l'a mentionné précédemment, une tôle en acier électromagnétique à grains orientés a une texture (110) [001] et elle est d'aimantation facile dans la direction du laminage. Si on se réfère à la Figure 4A, une tôle en acier électromagnétique à grains orientés 10 est irradiée par un rayon laser d'une manière essentiellement perpendiculaire à la direction de laminage F. Le numéro de référence 12 désigne les zones de la tôle irradiées par laser sous forme de rangées. Le fait que la perte en watts est réduite par l'irradiation par rayon laser peut s'expliquer de la façon suivante.





Une telle tôle en acier électromagnétique à grains orientés 10 présente un domaine magnétique relativement grand 14 qui est allongé dans la direction de laminage comme on l'a illustré sur la Figure 5A. Avec un degré plus élevé de texture (110) [001], les grains cristallins à travers lesquels s'étendent les parois du domaine et, de ce fait, les domaines magnétiques délimités par ces parois sont amenés à être grands dans l'acier électromagnétique à grains orientés. Comme la perte en watts est proportionnelle aux dimensions des domaines magnétiques, un problème d'inconsistance réside dans le fait que la matière qui a un degré plus élevé de texture et de ce fait de plus gros grains ne montre pas la perte en watts, réduite en proportion du degré plus élevé de texture cristalline.

Lorsque la tôle en acier électromagnétique à grains orientés est irradiée par un rayon laser sensiblement dans la direction transversale au laminage, de manière à ce que les zones irradiées 12 soient donc essentiellement perpendiculaires à cette direction de laminage, il est formé un groupe de petites projections ou saillies 16 le long des deux côtés des zones irradiées par laser 12. Un microscope électronique du type à balayage peut déceler ces petites saillies qui s'étendent le long des deux côtés des zones irradiées par laser 12, ces saillies n'étant que partiellement illustrées sur les Figures 5A et 5B. Les petites saillies seraient des noyaux de domaines magnétiques, ayant des parois de domaine à 180° et causant une subdivision des domaines magnétiques 14 de la tôle en acier électromagnétique à grains orientés 10 lorsque cette tôle est aimantée. Du fait de la subdivision des domaines magnétiques, la perte en watts est

réduite. On croit que, lorsque la tôle d'acier est irradiée par un laser de haute puissance, de fortes ondes élastiques et plastiques sont engendrées dans cette tôle d'acier. On croit que la probabilité de formation des noyaux est proportionnelle à la densité des dislocations qui sont créées par les ondes plastiques.

Si on se reporte à la Figure 4B, la tôle en acier électromagnétique à grains orientés 10 a été irradiée par un rayon laser dans la direction de laminage F. A la suite de cette irradiation, les marques créées par celle-ci se situent dans la direction du laminage. Si on se reporte à la Figure 5B, on peut y voir un groupe de petites saillies 16 engendrées par l'irradiation par rayon laser. Les petites saillies 16 semblent agir comme noyaux de domaines magnétiques (non illustrés), ayant des parois de domaine à 90°. Cela signifie que, lorsqu'un champ magnétique externe H est appliqué à la tôle d'acier 10, des parois de domaine à 90° semblent se développer depuis les petites saillies 16, ce qui provoque la formation de très petits domaines magnétiques (non représentés) alignés parallèlement à la direction du champ magnétique externe, ce qui mène ainsi à une réduction de la perte en watts.

Dans l'exemple d'irradiation par rayon laser, illustré par la Figure 4A, la perte en watts W_L (direction du laminage) de 1,10 w/kg, mesurée à une densité de flux magnétique de 1,7 T et à une fréquence de 50 Hz, a été réduite après irradiation par rayon laser à 1,0 w/kg. La perte en watts (W_C) dans la direction perpendiculaire au laminage, mesurée à une densité de flux magnétique de 1,3 T et à une fréquence de 50 Hz, n'a pas été essentiellement modifiée par l'irradiation par rayon laser. Par



conséquent, la perte en watts (W_L) est réduite de 10% du fait de l'irradiation par rayon laser illustrée par la Figure 4A.

Par contre, dans le cas de l'irradiation par rayon laser, illustrée par la Figure 4B, la perte en watts (W_L) n'est pas modifiée de façon appréciable mais la perte en watts (W_C) est réduite à 2,04 w/kg. La perte en watts (W_C) est par conséquent fortement réduite puisque cette réduction est de 28%.

Dans le cas des Figures 4A et 4B, la tôle d'acier est irradiée par un rayon laser le long d'un court ou d'un long côté, sous la forme de rangées ou de lignes droites parallèles. Cependant, les traces du rayon laser peuvent se présenter en zigzag ou sous la forme d'escaliers le long du court ou du long côté de la tôle d'acier, et ce comme illustré par la Figure 4C.

Les conditions pour atteindre une telle réduction de la perte en watts telle qu'expliquée ci-dessus sont les suivantes. La largeur d'irradiation (d) des zones irradiées par laser 12 devrait être de 0,01 à 1 mm, l'intervalle (l) entre les zones irradiées par laser 12 devrait être de 1 à 20 mm, et la largeur d'impulsion laser devrait être de 1ns à 1ms, dans le cas de la méthode d'irradiation de la Figure 4A. Dans le cas de la méthode d'irradiation de la Figure 4B, les conditions devraient être les suivantes : la largeur d'irradiation (d) devrait être de 0,01 à 1 mm, l'intervalle (l) devrait être de 1,0 à 30 mm, et la largeur d'impulsion laser ne devrait pas être supérieure à 10ms, avec une densité d'énergie (P) de 0,5 à 5 J/cm². La densité d'énergie (P) du faisceau laser est en rapport avec la densité de dislocation (ρ), ce que l'on peut exprimer par :

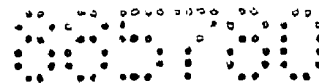
$$\rho^{1/n} \propto P.$$



où "n" est une constante. Lorsque des zones d'une haute densité de dislocation sont formées par l'irradiation par faisceau laser, les domaines magnétiques de ces zones peuvent être mis en désordre de telle sorte que la perte en watts est augmentée. Par conséquent, la réduction de la perte en watts est la plus élevée pour certaines valeurs optimales de d , de ℓ et de P , la réduction de la perte en watts étant la plus notable à environ 0,4 de la valeur $d \cdot P^2 / \ell$, et la perte en watts est anormalement élevée pour un écart important de la valeur $d \cdot P^2 / \ell$ au-dessus ou en dessous de 0,4. Le laser à utiliser est de préférence un laser à impulsions. On peut employer aussi un laser à ondes continues mais un laser à impulsions est plus efficace. Les zones irradiées par laser 12 des Figures 4A et 4B ne peuvent pas être alignées de manière précise dans une direction perpendiculaire ou parallèle à la direction de laminage F , mais aucune différence appréciable dans les effets de l'irradiation par faisceau laser n'est créée si on s'écarte de ces directions d'une valeur de l'ordre de $\pm 30^\circ$. Les sections d'acier peuvent être soumises à une application d'une pellicule isolante connue après l'irradiation par faisceau laser.

Dans un procédé qui comprend les phases suivantes : estampage d'une tôle en acier électromagnétique de manière à procéder à l'assemblage d'un noyau de transformateur au départ des sections estampées, et, à l'état estampé ou après l'estampage, un recuit de détente de la tôle en acier électromagnétique, un perfectionnement suivant la présente invention comprend l'irradiation préparatoire par un faisceau laser des parties 2 (Figures 1 et 2) des sections de la tôle en acier électromagnétique, où





un flux magnétique rotatif est engendré sous une excitation alternative. L'une ou l'autre ou les deux surfaces des sections d'acier, où le flux magnétique rotatif doit être engendré, sont balayées par un faisceau laser sensiblement parallèlement à la direction de laminage. L'irradiation par laser ne doit pas nécessairement être continue et peut donc par conséquent être d'un type intermittent. On peut utiliser pour l'irradiation un laser à rubis, un laser à grenat yttrium-aluminium ou un laser à azote, qui sont actuellement disponibles sur le marché. La densité d'énergie (P) des lasers est de façon appropriée de 0,01 à 1000 J/cm^2 . La largeur d'impulsion (temps d'oscillation) n'est avantageusement pas supérieure à 10ms, car un phénomène de fusion thermique se produit à la surface des sections d'acier lorsque la largeur d'impulsion dépasse 10ms. De façon appropriée, la largeur d'irradiation (d) et l'intervalle (ℓ) des zones irradiées par laser sont respectivement de 0,01 à 1 mm et de 1,0 à 30 mm.

Suivant une forme de réalisation préférée illustrée par la Figure 6, une extrémité des sections d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés est chanfreinée à 45°, les trois sections d'acier chanfreinées sont réunies suivant un joint dit à 45° de manière à former un joint en T, et les rangées des marques d'irradiation par laser sont agencées sur le joint T sous la forme de rayures s'étendant sensiblement parallèlement à la direction du laminage. La zone de connexion en T est irradiée par un faisceau laser avant le chanfreinage ou la formation du joint à 45°.

Dans le cas où les éléments constitutifs d'un noyau de



fer formé au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés comprennent une première partie s'étendant dans la direction du laminage et une seconde partie s'étendant dans une direction perpendiculaire à celle du laminage, une forme de réalisation préférée suivant la présente invention comprend le balayage de la première partie dans une première direction, qui est essentiellement perpendiculaire ou parallèle à la direction du laminage, et le balayage de la seconde partie suivant une seconde direction qui est essentiellement perpendiculaire à la première direction susdite. En ce qui concerne les noyaux de transformateur ou autre machine des types EI ou CI, les éléments du noyau, formés d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, sont irradiés par un faisceau laser de la façon illustrée par la Figure 7.

Les éléments 20 du type I (Figure 7A) sont estampés dans une tôle en acier électromagnétique à grains orientés de manière que la direction longitudinale de ces éléments se situe dans la direction de laminage de la tôle d'acier. Les zones 12 d'irradiation par laser sont dirigées suivant les côtés courts des éléments 20 du type I, réalisés en une tôle d'acier électromagnétique à grains orientés. Les zones irradiées par laser 12 peuvent être formées par des balayages successifs par le rayon laser. A titre de variante, un faisceau laser en forme de bande, ayant la même configuration que les zones 12, peut être créé grâce à une fente pratiquée dans un masque prévu pour ce faisceau. En utilisant un tel masque, on peut former simultanément une série de zones irradiées par laser. Comme le flux magnétique (ϕ) traverse les éléments 20 du type I dans la direction indiquée par une ligne en trait interrompu, la perte en watts peut être



réduite pour la raison expliquée avec référence à la Figure 4A.

Les éléments 22 du type E (Figure 7A) sont formés de manière que les directions longitudinales des trois branches 22a et de la culasse 22d soient dirigées respectivement dans la direction de laminage (F) et dans la direction transversale au laminage, ou vice versa. Les zones irradiées par laser des trois branches 22a et de la culasse sont orientées suivant les courts côtés respectivement des branches et de la culasse. Du fait de la disposition des zones irradiées par laser de la manière expliquée ci-dessus, la perte en watts est réduite dans les trois branches 22a pour la raison expliquée avec référence à la Figure 4A, tandis que la perte en watts est également réduite à la culasse 22b pour la raison expliquée avec référence à la Figure 4B.

Si on se reporte à la Figure 7B, on y a illustré un élément de noyau 24 du type C, et la perte en watts d'un tel élément 24 est réduite par une méthode semblable à celle décrite pour la Figure 7A.

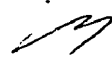
Des zones irradiées par faisceau laser sont formées sur les éléments du type E ou C, sauf dans les coins. Cependant, des zones irradiées par faisceau laser, qui sont en alignement avec les zones prévues sur les branches et la culasse peuvent être formées sur des parties choisies des coins de ces éléments des types E ou C. Bien que les coins 22c et 22d ne soient pas irradiés pour conserver la simplicité de la méthode, la réduction de la perte en watts est satisfaisante. Le faisceau laser appliqué aux branches et à la culasse peut toutefois être appliqué aux deux demi-parties des coins 22c et 22d, séparées par la diagonale 26 (Figure 7C).

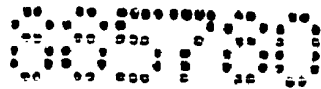


Lorsqu'on utilise des noyaux des types E et I à titre de noyaux de fer pour un transformateur triphasé, le flux magnétique traversant le joint T 22e est orienté dans six directions, à savoir $a \rightarrow b$, $b \rightarrow c$, $c \rightarrow a$ et vice versa. Par conséquent, le joint 22e en T est de préférence non orienté. Toutefois, lorsque le joint 22e en T est fait d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, ce joint 22e peut être laissé à l'état non irradié comme illustré par la Figure 7A. A titre de variante, le faisceau laser appliqué à la culasse et à la branche centrale peut être appliqué ensuite au joint 22e en T, de la façon illustrée par la Figure 7D, de sorte que les rayures ou bandes sont formées sélectivement dans la direction de laminage et dans la direction transversale à celui-ci.

La perte en watts des noyaux des types CI et EI réalisés au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés peut être réduite par irradiation par laser de la façon décrite précédemment, ce qui constitue un moyen simple de réduction. Comme on le sait, une partie de la puissance électrique est perdue de façon ininterrompue en tant que perte en watts durant le fonctionnement des transformateurs, et une réduction même légère de la perte en watts contribue fortement à une économie d'énergie au cours de la vie de tels transformateurs. La présente invention est par conséquent très efficace pour économiser de l'énergie au cours du fonctionnement des transformateurs.

Lorsqu'on utilise une tôle en acier électromagnétique à grains orientés pour le stator de machines ou d'appareils électriques importants, la perte en watts peut être réduite dans le noyau du stator de la façon suivante. Une série d'éléments en éventail sont découpés dans une tôle en acier électromagnétique

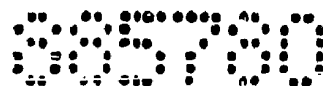




à grains orientés de manière que la direction longitudinale de ces éléments coïncide avec la direction de laminage ou la direction transversale à celui-ci ; les zones irradiées par laser de la culasse et des dents, zones qui ont une largeur prédéterminée, s'étendent respectivement dans une direction essentiellement radiale et dans une direction essentiellement circonferentielle ; et en outre les zones irradiées par laser sont espacées les unes des autres d'un intervalle prédéterminé, et ce radialement et circonferentiellement pour ce qui concerne respectivement les zones des dents et de la culasse. La méthode de formation d'un tel noyau de stator comprend l'opération de découpage ou d'estampage, avec ou sans recuit de détente, et une irradiation par laser.

Si on se réfère à la Figure 8A, on y illustre une méthode de découpage ou d'estampage d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés 10 pour former des éléments en éventail 30 d'un noyau de stator. Chaque élément en éventail 30 comporte une culasse 30a et des dents 30b. La tôle en acier 10 a été laminée dans la direction F (direction de laminage) et a une largeur (W) d'environ 1 m. Les éléments voisins 30' et 30'' sont découpés de la tôle en acier 10 dans des directions opposées l'une à l'autre afin de réduire la quantité des déchets. La direction longitudinale F_1 , à savoir la direction perpendiculaire à la direction radiale R_1 au centre de chaque élément en éventail 30, coïncide avec la direction de laminage F de la tôle d'acier 10.

Si on se réfère à la Figure 8B, le flux magnétique (ϕ) traversant chaque élément en éventail 30 est dirigé, comme illustré par les lignes en trait interrompu, dans une direction circonferentielle (F_2) à la culasse, dans une direction radiale (F_3)



aux dents et dans des directions courbes (F_4) reliant la direction F_2 à la direction F_3 à la limite entre la culasse et les dents.

Le fait que le flux magnétique passe vers la droite ou vers la gauche suivant les directions courbes (F_4) est déterminé par la phase d'un courant d'excitation triphasé à un moment donné. Par conséquent, lorsque la direction du flux magnétique coïncide avec la direction de laminage au centre de chaque élément en éventail 30, cette direction du flux magnétique est déviée depuis la direction de laminage, c'est-à-dire l'axe d'aimantation facile $[001]$, aux extrémités de droite et de gauche de l'élément en éventail par rapport à la culasse de cet élément. L'angle de déviation dépend du nombre d'éléments en lesquels le noyau de stator est subdivisé et cet angle est habituellement de 20 à 30°. En ce qui concerne les dents 30b, lorsque la direction longitudinale F_1 de chaque élément en éventail coïncide avec la direction de laminage, le flux magnétique à travers la dent centrale et dans la dent de droite ou de gauche est dirigé dans la direction transversale au laminage et dans une direction déviée par rapport à cette direction transversale au laminage. L'angle de déviation est de 20 à 30°. Une déviation de la direction du flux magnétique par rapport à l'orientation des cristaux exerce une grande influence sur la perte en watts, ce que l'on peut comprendre en raison du fait qu'une réduction importante de la perte en watts peut être atteinte en augmentant le degré de la texture $(110)[001]$ dans la direction du laminage d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés. L'angle de déviation de 20 à 30° n'est par conséquent pas négligeable en ce qui concerne la perte en watts. La déviation



aux dents est plus sérieuse que la déviation précédente, c'est-à-dire là où le flux magnétique passe suivant l'axe [110], qui est perpendiculaire à l'axe [001] et qui est difficile à aimanter. De ce fait, une tôle en acier électromagnétique à grains orientés n'a par conséquent pas été utilisée pour le noyau de fer des grandes machines rotatives.

Le schéma des rayures ou bandes, illustré par la Figure 8B, que l'on a obtenu par une irradiation par un faisceau laser permet d'utiliser une tôle en acier électromagnétique à grains orientés pour les éléments estampés ou découpés, en forme d'éventail, d'un noyau de stator d'une grande machine rotative. Les zones irradiées par laser 12 de la culasse 30a de chaque élément en éventail 30 ont une largeur (d) prédéterminée, elles s'étendent radialement et sont agencées circonférentiellement en étant espacées les unes des autres d'un intervalle prédéterminé (l). La méthode d'irradiation illustrée par la Figure 4A est modifiée et utilisée pour la formation de ces zones 12 de la Figure 8B. Par contre, les zones irradiées par laser 12 des dents 30b ont une largeur prédéterminée (d), elles s'étendent circonférentiellement et sont agencées radialement en étant espacées les unes des autres d'un intervalle prédéterminé (l). La méthode d'irradiation illustrée par la Figure 4B est modifiée et utilisée pour la formation de ces zones irradiées par laser sur les dents 30b.

Lorsque les méthodes d'irradiation illustrées par les Figures 4A et 4B sont utilisées sans modification pour la formation des zones irradiées de chaque élément en éventail, toutes les zones irradiées 12 s'étendent parallèlement à la direction R_1 , à savoir dans la direction radiale de l'élément en éventail



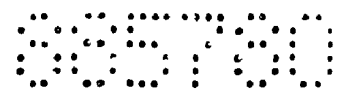


à la partie centrale, avec pour résultat que la direction des zones irradiées des extrémités de droite et de gauche de l'élément en éventail est déviée par rapport à la direction illustrée par la Figure 8B. L'angle de déviation peut être de 20 à 30°. De même, toutes les zones irradiées par laser des dents s'étendent perpendiculairement à la direction R_1 , à savoir parallèlement à la direction longitudinale F_1 , avec pour résultat que la direction des zones irradiées des colonnes de droite et de gauche est déviée par rapport à la direction illustrée sur la Figure 8B, et ce suivant un angle de 20 à 30°.

Un angle de déviation de 20 à 30° par rapport à la direction de laminage est admissible en raison du léger degré de déviation dans les éléments en éventail. L'angle de déviation de 20 à 30° serait préférable plutôt qu'admissible étant donné que, du fait d'une telle déviation angulaire, la déviation du flux magnétique par rapport à la direction du laminage devient faible.

La zone limite entre les dents 30b et la culasse 30a peut être irradiée par une des méthodes ci-après. Si on se reporte à la Figure 8B, le dessin irradié par laser à l'endroit de cette zone limite entre les dents 30b et la culasse 30a est d'allure conique comparativement au dessin existant sur les dents, avec pour résultat que le flux magnétique est guidé de la façon illustrée par la ligne en trait interrompu F_5 (limite entre la culasse et la dent de gauche). Une réduction de la perte en watts peut être atteinte du fait des raisons expliquées avec référence aux Figures 3 et 4. Si on se réfère à la Figure 8C, l'irradiation par faisceau laser est appliquée à la zone limite entre les dents et la culasse, de la même manière qu'à cette



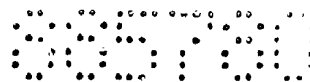


culasse. Si on se reporte à la Figure 8B, l'irradiation par faisceau laser n'est pas appliquée dans la zone limite entre les dents et la culasse. Ce type d'irradiation est admissible car la zone limite est relativement faible et en outre le flux magnétique est dirigé dans diverses directions dans cette zone limite. Comme expliqué précédemment avec référence aux Figures 8B, 8C et 8D, la présente invention permet de réduire la perte en watts à la fois dans les zones de la culasse et dans les zones des dents d'un élément de noyau de stator d'une machine rotative, noyau qui est subdivisé en sections réalisées en une tôle en acier électromagnétique à grains orientés.

Les zones irradiées par laser 12 des dessins décrits ci-dessus sont représentées par des lignes continues. La perte en watts d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés peut être réduite par l'irradiation par faisceau laser, qui laisse des marques linéaires sur la tôle d'acier. En outre, la réduction de la perte en watts peut être atteinte par les marques d'irradiation par faisceau laser, se présentant sous la forme de lignes interrompues ou de points. Lorsque les marques d'irradiation sont des points et/ou des lignes interrompues agencés en rangées, un faisceau laser est appliqué sur le flan estampé d'un élément de machine ou appareil électrique, de préférence sous les conditions suivantes : densité d'énergie de 0,001 à 1000 J/cm^2 ; aire de chaque marque d'irradiation par faisceau laser, non inférieure à 10^{-5} mm^2 .

Des formes de réalisation suivant la présente invention, dans leur application aux éléments d'un noyau de stator, sur lesquels des points intermittents sont formés, sont décrites ci-après.





Si on se reporte à la Figure 9, qui illustre un élément de noyau de stator semblable à celui de la Figure 8, les marques 31, 32 et 33 en forme de points sont créées par l'irradiation par faisceau laser suivant une forme de réalisation de la présente invention, de manière à pouvoir utiliser une tôle en acier électromagnétique à grains orientés pour une machine rotative. Les mêmes numéros de référence et symboles que ceux de la Figure 8 ont été utilisés sur la Figure 9 avec une signification identique. Un exemple de conditions d'irradiation est le suivant :

Aire de chaque marque (s) : non inférieure à 10^{-5} mm^2

Diamètre des marques (d) : 0,004 - 1 mm

Distance (a_M) des marques dans la direction transversale au laminage : 0,004 - 2 mm

Distance (l) entre les marques dans la direction du laminage : 1 - 30 mm

Densité d'énergie du faisceau laser (P) : 0,01 - 1000 J/cm²

Suivant une autre forme de réalisation de la présente invention, les marques en trait interrompu 41, 42 et 43 sont formées par une irradiation par faisceau laser. Un exemple de conditions d'irradiation pour ce faire est le suivant :

Largeur des marques (d) : 0,03 - 1 mm

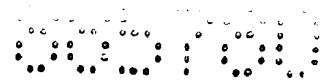
Longueur des marques (b_M) : non inférieure à 1 mm

Distance (a_M) des marques dans la direction transversale au laminage : 0,01 - 2 mm

Distance (l) entre les marques dans la direction du laminage : 1 - 30 mm

Densité d'énergie (P) : 0,01 à 1000 J/cm²

Largeur d'impulsion (temps d'oscillation) : 1 ns - 100 ms



Les marques en forme de points ou les marques en forme de traits interrompus, créées par irradiation suivant les deux formes de réalisation susdites de la présente invention, peuvent être prévues séparément sur une portion superficielle d'un flan d'élément pour appareil ou machine électrique, mais ces deux types de marque peuvent aussi être utilisés en combinaison sur une même surface. La présente invention englobe en outre une forme de réalisation suivant laquelle une combinaison choisie des marques est prévue sur les deux surfaces d'un flan d'élément pour machine ou appareil électrique. L'irradiation par faisceau laser suivant la présente invention est de préférence appliquée au flan après l'opération connue de recuit de détente, que l'on réalise, si nécessaire, pour supprimer les contraintes créées dans la bobine d'un feuillard d'acier lors du découpage de celui-ci.

Les exemples suivants illustrent des procédés d'application suivant la présente invention et présentent les conditions préférables d'irradiation, amenant une réduction notable de la perte en watts.

Exemple 1

Une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, présentant les propriétés magnétiques : $B_8 = 1,92T$ et $W_{17/60} = 1,36 \text{ w/kg}$, est découpée ou estampée pour former les sections d'un noyau de transformateur, puis on soumet ces sections à un recuit de détente. Un faisceau de laser à grenat d'yttrium-aluminium est appliqué aux sections susdites de manière que ce faisceau assure un balayage sensiblement parallèlement à la direction du laminage de chaque section, ce qui constitue un joint en T pour former les zones irradiées ayant l'allure de rayures





ou chevrons. La Figure 6 illustre schématiquement comment le faisceau laser est amené à assurer son balayage ou à former des traces sur le joint T des sections de tôle. Le faisceau laser est appliqué sur une surface seulement de ces sections et les conditions d'irradiation sont les suivantes :

Largeur d'impulsion (temps d'oscillation) : 150 ns

Largeur d'irradiation (d) (Figures 4A et 4B) : 0,16 mm

Distance d'irradiation (l) (Figures 4A et 4B) : 5 mm

Densité d'énergie d'irradiation (P) : 1,3 J/cm²

La perte en watts a été mesurée avant et après l'irradiation et on a trouvé les valeurs suivantes :

Avant l'irradiation, $W_{17/60} = 1,57$ w/kg

Après l'irradiation, $W_{17/60} = 1,52$ w/kg

Le symbole $W_{17/60}$ désigne la perte en watts à un flux magnétique de 1,7T et à une fréquence de 60 Hz.

Le taux de réduction de la perte en watts d'un noyau de transformateur, grâce à l'irradiation par laser, est par conséquent :

$$\frac{1,57 - 1,52}{1,57} \times 100\% = 3,2\%$$

Au joint T, qui constitue 9,5% du poids du noyau de fer, la proportion de réduction de la perte en watts est de :

$$\frac{3,2}{9,5} \times 100 (\%) = 33,7\%$$

Exemple 2

Les éléments d'un noyau de stator ont été découpés ou estampés dans une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, qui a été soumise à un recuit final, en utilisant des ma-

trices d'estampage, et les éléments obtenus ont été soumis à une irradiation par faisceau laser sous les conditions suivantes : densité d'énergie (P) : $1,1 \text{ J/cm}^2$, diamètre des marques (d) 0,1 mm.

Les marques en forme de points 32 illustrées par la Figure 9, d'un diamètre (d) de 0,1 mm, ont été formées par irradiation pour les paramètres a_M et λ donnés dans le Tableau 2.

7

Tableau 2.

Echan- tillons	a_M (mm)	λ (mm)	Perte en watts		Perte en watts		Flux magné- tique avant irradiation		Flux magné- tique après irradiation	
			avant irradiation		après irradiation		B_{10}		B_{10}	
			$W_{17/50}$	direc- tion L	$W_{17/50}$	direc- tion L	direc- tion L	direc- tion C	direc- tion L	direc- tion C
A	0,5	1,0	1,65	4,18	1,58	4,17	1,80	1,36	1,80	1,37
B	5	0,5	1,63	4,20	1,61	3,98	1,82	1,36	1,81	1,36

Les directions L et C indiquent les directions de mesure des propriétés magnétiques dans la direction de laminage et dans la direction transversale ou perpendiculaire au laminage. Les directions de balayage du laser dans les échantillons A et B ont été respectivement les directions C et L.

Comme on peut le voir du Tableau 2, la perte en watts pour l'échantillon A dans la direction L est réduite de 0,07 w/kg et la perte en watts pour l'échantillon B dans la direction C est réduite de 0,22 w/kg du fait de l'irradiation par faisceau laser réalisée sous la forme de points.

Exemple 3

Une irradiation linéaire du type illustré par la Figure 9 (marques 43) a été réalisée sous les conditions suivantes : densité d'énergie (P) de $1,1 \text{ J/cm}^2$; largeur d'irradiation (d) de 0,05 mm ; longueur d'irradiation (b_M) de 0,3 mm. Les résultats de l'irradiation et les paramètres d'irradiation a_M et l sont donnés dans le Tableau 3. Les directions de balayage du laser dans les échantillons C et D ont été respectivement les directions C et L.

9

Tableau 3

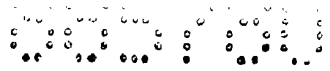
Echan- tillons	a_M (mm)	ℓ (mm)	Perte en watts		Perte en watts après irradiation $W_{17/50}$	Flux magné- tique avant irradiation B_{10}		Flux magné- tique après irradiation B_{10}	
			avant irradiation $W_{17/50}$	direc- tion L	direc- tion C	direc- tion L	direc- tion C	direc- tion L	direc- tion C
C	0,5	7,5	1,69	4,10	1,61	4,10	1,79	1,78	1,38
D	5,0	0,8	1,65	4,15	1,64	3,92	1,81	1,80	1,35

Comme cela apparaît du Tableau 3, la perte en watts pour l'échantillon C dans la direction L a été réduite de 0,08 w/kg et la perte en watts pour l'échantillon D dans la direction C a été réduite de 0,22 w/kg, du fait de l'irradiation linéaire par faisceau laser.

Exemple 4

On a appliqué une irradiation par points sur les deux surfaces de sections de tôle d'acier sous les conditions suivantes : densité d'énergie (P) de $1,1 \text{ J/cm}^2$; diamètre des marques (d) de 0,1 mm ; les paramètres d'irradiation a_M et ℓ sont donnés dans le Tableau 4.

3



Les paramètres a_M et l sur les deux surfaces d'une section de tôle d'acier sont différents comme le montre le Tableau 4. Du fait de l'irradiation par points, au cours de laquelle les paramètres a_M et l sur une surface diffèrent de ceux pour l'autre surface, les pertes en watts dans les directions L et C ont été réduites respectivement de 0,07 w/kg et de 0,21 w/kg.

REVENDEICATIONS

1. Noyau de fer pour machines et appareils électriques, comprenant au moins une section d'acier qui a la forme prédéterminée d'un élément de noyau de fer d'une telle machine ou d'un tel appareil électrique, qui est en outre réalisée au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés et qui présente, sur au moins l'une de ses surfaces, des marques créées par une irradiation par faisceau laser.
2. Noyau de fer suivant la revendication 1, dans lequel les marques de l'irradiation par faisceau laser sont sous forme de lignes continues agencées en rangées avec un intervalle prédéterminé entre celles-ci.
3. Noyau de fer suivant la revendication 1, dans lequel les marques d'irradiation par faisceau laser sont sous la forme de points ou de lignes interrompues ou de ces deux types, agencés en rangées, l'aire de chaque marque d'irradiation par faisceau laser n'étant pas inférieure à 10^{-5} mm^2 et la densité d'énergie du faisceau laser étant de 0,01 à 1000 J/cm^2 .
4. Noyau de fer suivant la revendication 2 ou 3, dans lequel les rangées des marques d'irradiation par faisceau laser sont essentiellement parallèles à la direction de laminage de la

3

tôle en acier électromagnétique à grains orientés.

5. Noyau de fer suivant la revendication 2 ou 3, dans lequel les rangées des marques d'irradiation par faisceau laser sont essentiellement perpendiculaires à la direction de laminage de la tôle en acier électromagnétique à grains orientés.

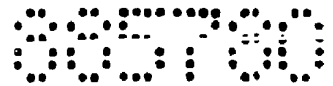
6. Noyau de fer suivant la revendication 2 ou 3, dans lequel certaines des rangées des marques d'irradiation par faisceau laser sont essentiellement parallèles à la direction du laminage, tandis que les autres rangées de ces marques sont essentiellement perpendiculaires à la direction du laminage de la tôle en acier électromagnétique à grains orientés.

7. Noyau de fer suivant la revendication 2 ou 3, dans lequel les marques d'irradiation par faisceau laser sont formées sur une section d'acier là où un flux magnétique rotatif est engendré.

8. Noyau de fer suivant la revendication 7, dans lequel une extrémité de sections d'acier est chanfreinée à 45°, trois sections d'acier chanfreinées sont reliées suivant un joint à 45° de manière à former un joint T, et les rangées de marques d'irradiation par faisceau laser sont agencées sur le joint T sous la forme de rayures dans la direction du laminage.

9. Noyau de fer suivant la revendication 2 ou 3, dans lequel les éléments constitutifs de ce noyau, formés au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, comprennent une première partie s'étendant dans la direction du laminage et une seconde partie s'étendant dans la direction perpendiculaire à celui-ci, certaines des marques d'irradiation par faisceau laser de la première partie susdite s'étendant dans une première direction, qui est essentiellement perpendiculaire ou





parallèle à la direction du laminage, tandis que les autres marques d'irradiation par faisceau laser, créées sur la seconde partie susdite s'étendent dans une seconde direction qui est essentiellement perpendiculaire à la première direction susdite.

10. Noyau de fer suivant la revendication 9, qui est constitué d'éléments du type EI ou CI, formés au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés, les éléments du type I étant estampés ou découpés de la tôle d'acier de manière que la direction longitudinale de ces éléments se situe dans la direction de laminage de la tôle d'acier, les éléments du type C ou E sont formés de manière que les directions longitudinales des branches du noyau soient orientées dans la direction de laminage ou dans la direction perpendiculaire à celui-ci, les zones d'irradiation par laser, où les marques d'irradiation sont formées, sont dirigées suivant les côtés courts des éléments a type I et suivant les côtés courts des branches et de la culasse des éléments du type C ou E, et les zones d'irradiation par laser, présentant une largeur prédéterminée, sont espacées les unes des autres suivant un intervalle déterminé dans une direction perpendiculaire aux courts côtés susdits.

11. Noyau de fer suivant la revendication 10, dans lequel les marques d'irradiation par faisceau laser sont formées sur les éléments des types E ou C, sauf dans leurs coins.

12. Noyau de fer suivant la revendication 10, dans lequel des marques d'irradiation par faisceau laser, qui sont en alignement avec celles prévues sur les branches des éléments de noyau, sont formées dans les coins de ces éléments des types E ou C.



13. Noyau de fer pour grandes machines rotatives suivant la revendication 2 ou 3, comprenant une série d'éléments en forme d'éventail pour le noyau du stator, ces éléments étant découpés ou estampés au départ d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés de manière que la direction longitudinale de ces éléments en éventail coïncident avec la direction du laminage ou la direction perpendiculaire au laminage ; et les zones irradiées par laser de la culasse et des dents, zones qui ont une largeur prédéterminée, s'étendent respectivement dans une direction essentiellement radiale des éléments en éventail et dans une direction essentiellement circonférentielle de ceux-ci, et les zones d'irradiation par laser sont en outre espacées les unes des autres d'un intervalle prédéterminé, et ce radialement et circonférentiellement pour ces zones des dents et de la culasse.

14. Procédé de fabrication d'un noyau de fer pour machine ou appareil électrique, comprenant les phases suivantes : la transformation d'une tôle en acier électromagnétique à grains orientés en sections d'acier ayant la forme prédéterminée des éléments de ce noyau de fer ; l'irradiation, avec ou sans le recuit de détente, (a) des parties de ces sections d'acier, où le flux magnétique doit passer presque parallèlement à la direction de laminage, de manière que le balayage par laser se fasse sensiblement dans la direction transversale au laminage, et (b) des parties des sections d'acier, où le flux magnétique doit passer essentiellement perpendiculairement à la direction du laminage, de manière que le balayage par laser se fasse sensiblement dans la direction du laminage.

15. Procédé suivant la revendication 14, dans lequel



l'irradiation des sections d'acier se fait avec une déviation angulaire de 30% au maximum par rapport à la direction du laminage ou à la direction perpendiculaire à ce laminage.

16. Procédé suivant la revendication 15, dans lequel le laser est un laser à impulsions.

17. Procédé suivant la revendication 16, dans lequel la formation par irradiation par laser des bandes continues agencées sous forme d'un dessin à rayures avec un intervalle prédéterminé se fait sous les conditions suivantes : largeur d'irradiation (d) = 0,01 à 1 mm ; intervalle (l) = 1,0 - 30 mm ; largeur d'impulsion laser : non supérieure à 10 ms, et densité d'énergie (P) = 0,01 à 1000 J/cm².

18. Procédé suivant la revendication 17, dans lequel la formation, par irradiation par laser, des marques sous forme de lignes interrompues ou de points ou de ces deux types, agencées dans une direction prédéterminée et sous forme d'un dessin à rayures se fait sous les conditions suivantes : aire de chaque marque : non inférieure à 10⁻⁵ mm² ; densité d'énergie (P) = 0,01 - 1000 J/cm².

19. Procédé suivant la revendication 18, dans lequel la distance (a_M) entre les marques d'irradiation dans la direction transversale au laminage est de 0,004 à 2 mm et la distance (l) entre les marques dans la direction du laminage est de 1 à 30 mm.

20. Procédé suivant la revendication 18, dans lequel chaque ligne des marques d'irradiation a une largeur (d) de 0,003 à 1 mm, et une longueur (b_M) non inférieure à 0,01 mm, la distance (a_M) entre les marques d'irradiation dans la direction trans-

7

versale au laminage est de 0,01 à 2 mm, et la distance (d) entre les marques dans la direction du laminage est de 1 à 30 mm.

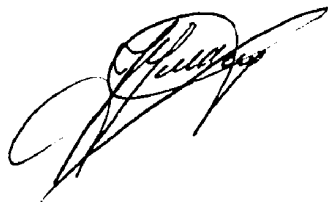
21. Procédé suivant la revendication 17, dans lequel les sections d'acier qui ont été irradiées par un faisceau laser reçoivent une application d'une pellicule isolante.

22. Noyaux de fer et leur fabrication, le tout comme décrit ci-dessus, notamment dans les Exemples donnés.

Bruxelles, le 17 octobre 1980

P.Pon de NIPPON STEEL CORPORATION

P.Pon du Bureau GEVERS, société anonyme



NIPPON STEEL CORPORATION

1

Fig. 1

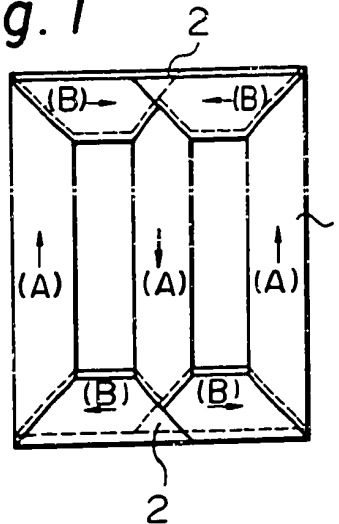


Fig. 2

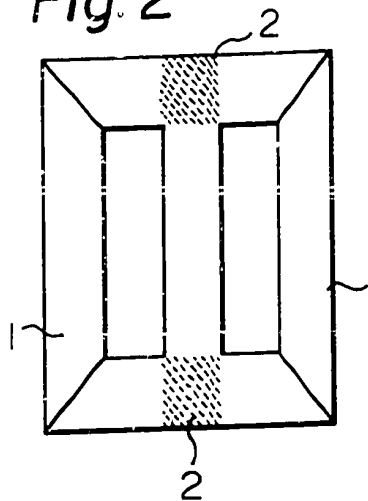
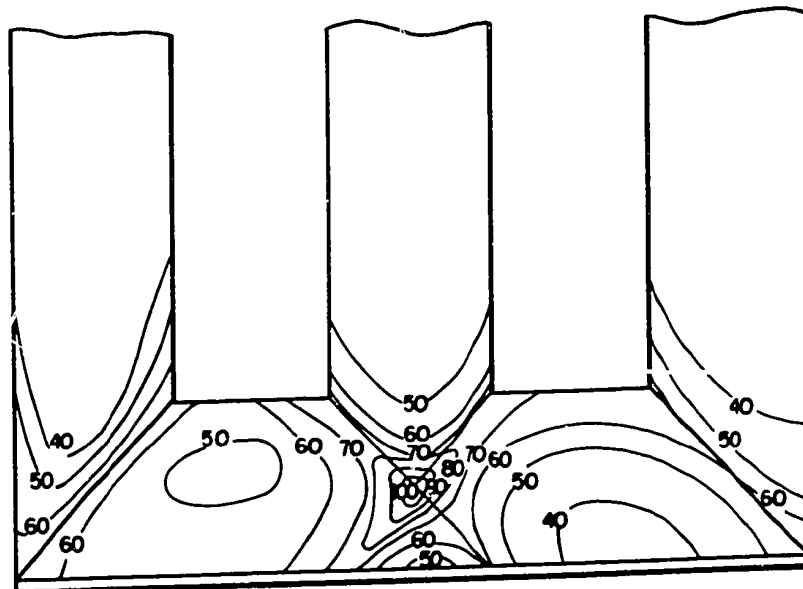


Fig. 3



BRUXELLES, le 17 octobre 1980

P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATIONP. Pon. du Bureau GEVERS
sac. 016. 0000000

NIPPON STEEL CORPORATION

2

Fig. 4A

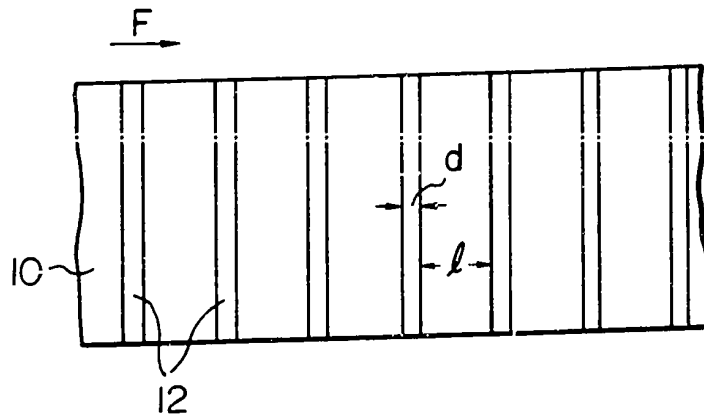


Fig. 4B

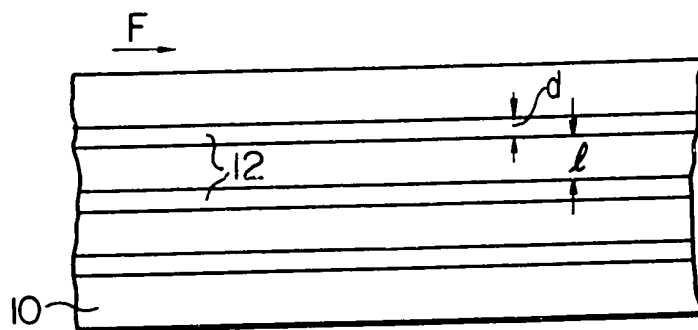
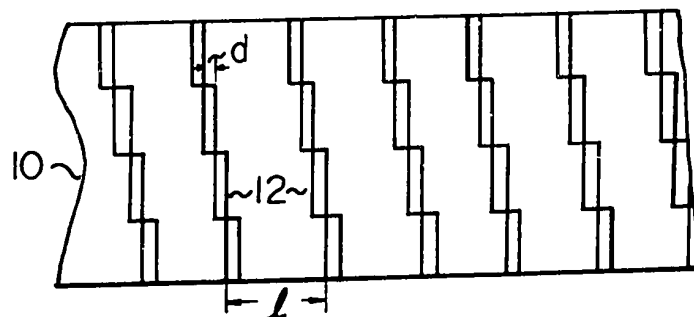


Fig. 4C



BRUXELLES, le 17 octobre 1980
P. Pen. de NIPPON STEEL CORPORATION
P. Pen. de Dure to GEVEPS

Fig. 5A

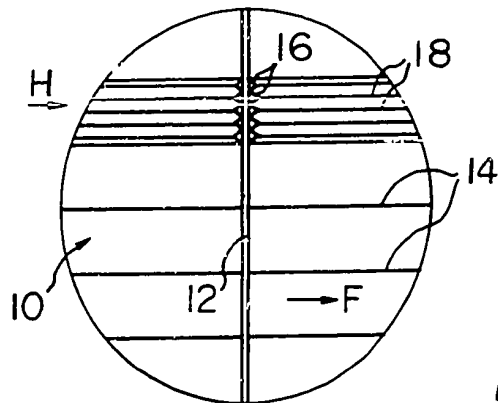


Fig. 5B

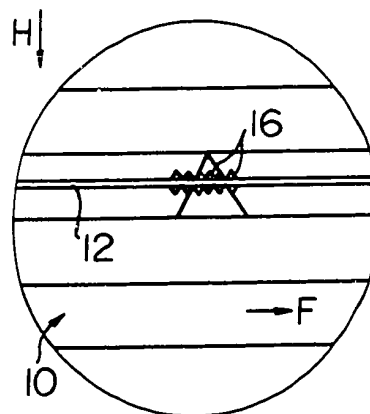
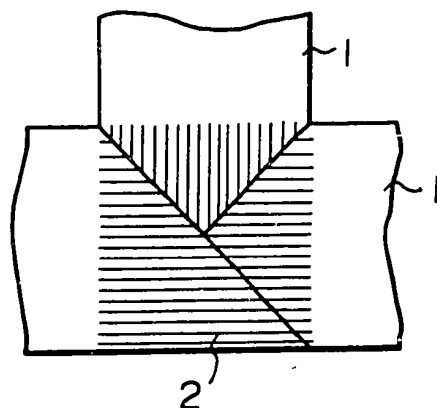


Fig. 6



BRUXELLES, le 17 octobre 1980
P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION
P. Pon. du Bureau GEVERS
société anonyme

Fig. 7A

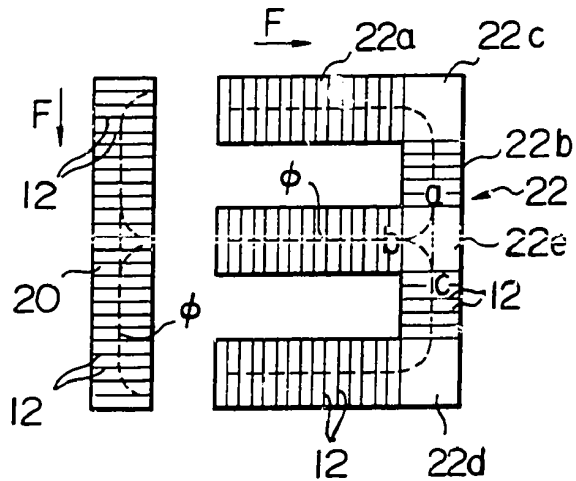


Fig. 7B

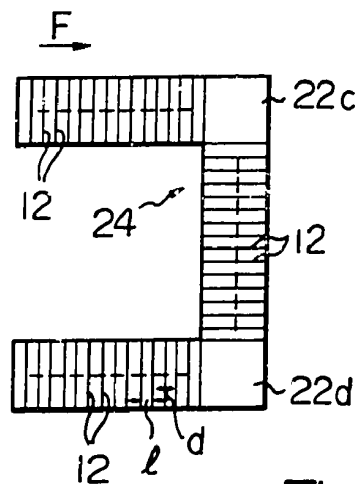


Fig. 7C

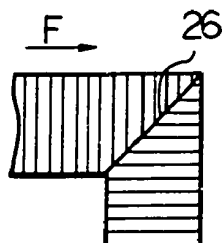
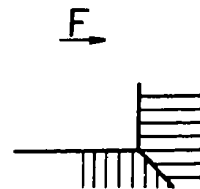


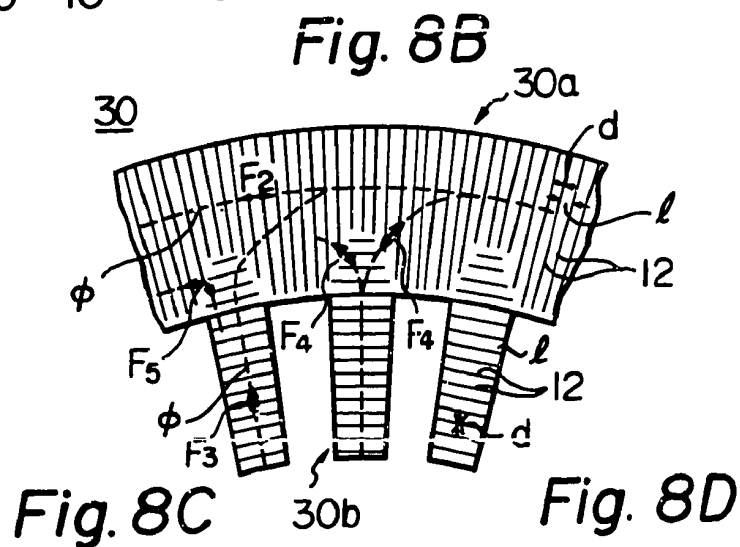
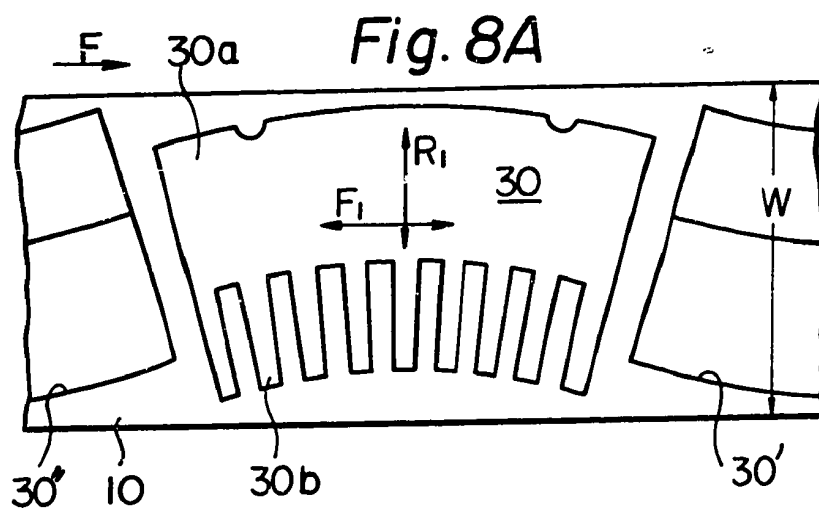
Fig. 7D



BRUXELLES, le 17 octobre 1980
P. Pen. de NIPPON STEEL CORPORATION
attesté par le notaire GEVERS

NIPPON STEEL CORPORATION

5



BRUXELLES, le 17 octobre 1980

P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION

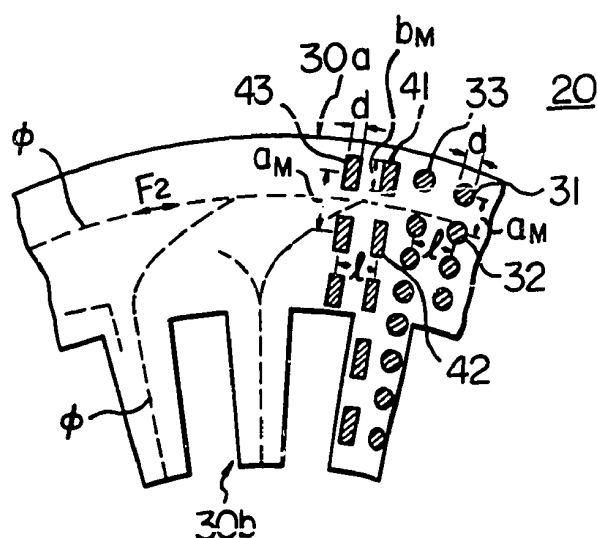
P. Pon. du Bureau GEVERS

société anonyme

NIPPON STEEL CORPORATION

6

Fig. 9



BRUXELLES, le 17 octobre 1980

P. Pon. de NIPPON STEEL CORPORATION

P. Pon. du Bureau GEVERS

société anonyme