

A1

**DEMANDE  
DE BREVET D'INVENTION**

(21)

**N° 81 15455**

---

(54) Procédé de fabrication d'un noyau de transformateur ou similaire à partir d'une bande de métal amorphe.

(51) Classification internationale (Int. Cl. 3). H 01 F 27/24.

(22) Date de dépôt..... 10 août 1980.

(33) (32) (31) Priorité revendiquée : *EUA, 11 août 1980, n° 177.075.*

(41) Date de la mise à la disposition du public de la demande..... B.O.P.I. — « Listes » n° 6 du 12-2-1982.

---

(71) Déposant : Société dite : WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, résidant aux EUA.

(72) Invention de : Belvin Bert Ellis, Paul Philip Corbett et Kou Chin Lin.

(73) Titulaire : *Idem* (71)

(74) Mandataire : Bureau D. A. Casalonga, Office Josse et Petit,  
8, av. Percier, 75008 Paris.

Procédé de fabrication d'un noyau de transformateur ou similaire à partir d'une bande de métal amorphe.

---

La présente invention se rapporte d'une façon générale aux noyaux magnétiques destinés à des transformateurs ou appareils électriques similaires à induction, et concerne plus particulièrement un procédé particulier de fabrication d'un noyau magnétique à partir  
5 d'une bande de métal amorphe.

Une manière courante de réaliser un noyau magnétique pour un appareil électrique tel qu'un transformateur consiste à utiliser une bande d'un matériau magnétique dont la direction préférée d'orientation est  
10 parallèle à la direction longitudinale du matériau, c'est-à-dire qu'il s'agit d'un matériau métallique non amorphe. Ce matériau est relativement flexible et facile à mettre en forme finale du noyau, avant ou après  
15 son recuit d'élimination de contrainte. Par conséquent, quand le noyau a été formé, il peut recevoir facilement un joint non assemblé, par exemple en le coupant entièrement suivant une section circonférentielle et, grâce à sa souplesse, un enroulement électrique asso-  
20 cié peut être facilement monté autour d'une section, simplement en ouvrant le joint et en introduisant l'enroulement par ce joint. Bien que cette technique soit entièrement satisfaisante lorsque le noyau est fait d'un matériau en bande métallique non amorphe, il ne  
25 s'est pas avéré satisfaisant lorsque le noyau est réalisé en une matière en bande amorphe. Il en est ainsi parce que la matière en bande, par exemple en METGLAS<sup>R</sup> (nom de marque) fabriqué par Allied Chemical Corp., est une matière très mince, très cassante et très dure.  
30 De nombreuses tentatives faites pour réaliser un noyau à partir de cette matière de la manière courante, n'ont pas eu de succès, principalement par le fait que la bande de métal amorphe est difficile à cisailer sans qu'il se forme des fissures le long de la ligne

de cisaillement. En outre, même si cette matière mince et cassante pouvait être cisailée sans se fissurer, le temps nécessaire pour réaliser des noyaux assemblés selon le procédé courant jusqu'à présent serait augmenté considérablement en raison de la minceur de la matière. Il est néanmoins souhaitable d'utiliser un métal amorphe pour former un noyau en raison de la réduction des pertes dans le noyau qu'il permet d'obtenir.

Pour ces raisons, un objet essentiel de l'invention est de proposer un procédé économique et relativement peu compliqué de réalisation, à partir d'une bande de métal amorphe d'un noyau magnétique destiné à un transformateur ou appareil similaire à induction électrique, et plus particulièrement, un procédé d'utilisation sûre. Comme cela sera expliqué plus en détail par la suite, le procédé décrit part d'une bande continue d'un métal amorphe non recuit qui est initialement enroulée autour d'un mandrin cylindrique pour former un noyau initialement rond, qui est ensuite serré d'une manière prédéterminée et coupé entièrement dans une section transversale prédéterminée. Cette opération de coupe, qui nécessite l'application d'un liquide de refroidissement inhibant l'oxydation dans la section de coupe du noyau, produit plusieurs bandes métalliques allongées non reliées entre elles. Les bandes non reliées sont séparées en un certain nombre de groupes individuels qui sont assemblés, un groupe à la fois, en un noyau de forme à peu près ovale, et qui est ensuite amené à la forme finale voulue s'il n'a pas déjà cette forme souhaitée. Ensuite, le noyau est recuit et il est soumis simultanément à un champ magnétique d'une intensité prédéterminée.

Le procédé selon l'invention sera maintenant décrit plus en détail en regard des figures sur lesquelles:

La Figure 1 est une coupe d'un noyau magnétique assemblé selon l'invention, et

les Figures 2a à 2e illustrent schématiquement un certain nombre de phases du procédé décrit pour réaliser le noyau magnétique de la Figure 1.

5 Parmi les figures, sur lesquelles les éléments semblables sont désignés par les mêmes références numériques, la figure 1 représente un noyau magnétique  
10 assemblé selon l'invention. Ce noyau qui convient particulièrement pour un transformateur ou autre appareil similaire à induction électrique est constitué par une  
15 bande continue d'un métal amorphe, par exemple d'une bande de matière METGLAS<sup>R</sup> mentionnée ci-dessus. Le noyau peut être rond, rectangulaire, quasi-rectangulaire, comme le montre la Figure 1 ou il peut avoir toutes les formes appropriées ou souhaitées. Dans la forme  
20 quasi-rectangulaire représentée, le noyau comporte des branches opposées 12 et 14, un étrier supérieur 16 et un étrier inférieur 18. L'une de ces quatre sections, par exemple l'étrier supérieur 16, comporte un joint 20 qui sert à accéder à l'intérieur et autour du noyau,  
25 pour positionner un ou plusieurs enroulements électriques associés. La Figure 1 représente un tel enroulement en 22.

Le joint 20 peut être un joint d'appui plan ou direct, il peut être un joint en gradins, il peut  
25 être encoché en V, ou avoir toute autre forme appropriée. De plus, les sections d'extrémité opposées formant ce joint peuvent porter des revêtements de protection tels que ceux décrits dans la demande de Brevet des Etats  
30 Unis d'Amérique N° 133 344 déposée le 24 Mars 1980, au nom de Lin et col. Il y a lieu de se reporter à cette demande de Brevet qui décrit également un procédé d'assemblage de l'enroulement associé (correspondant à l'enroulement 22).

35 Les figures 2a et 2e illustrent un procédé préféré de réalisation d'un noyau 10, formé d'une ou plusieurs bandes continues de métal amorphe, par exemple la matière METGLAS<sup>R</sup> mentionné ci-dessus. La Figure

2a montre deux bandes continues 24. Ces bandes sont initialement emmagasinées sur leurs propres bobines 26. La première phase du présent procédé consiste à enrouler la bande ou les bandes continues autour d'un mandrin cylindrique 28 pour former un noyau initialement rond désigné globalement par 30. Selon ce procédé, il importe que le noyau 30 soit enroulé en rond afin que le mouvement de la bande ou des bandes 24 ne soit pas saccadé ou autre mouvement irrégulier pouvant entraîner des ruptures. En outre, si les bandes sont enroulées autour du mandrin 28 sans accélération excessive, la vitesse d'enroulement peut en fait être augmentée.

Lorsqu'un noyau 30 initialement rond a été formé, il est serré de la manière prédéterminée illustrée par la Figure 2b. Le dispositif de serrage désigné globalement par la référence numérique 32 est représenté schématiquement sur cette figure comme comprenant une plaque de base 14 en acier ou autre matière rigide, et deux plaques de serrage 36 amovibles en acier ou autre matière rigide. Bien que cela ne soit pas représenté, un dispositif approprié est prévu pour maintenir les plaques de serrage 36 au-dessus de la plaque de base 34 de manière que le noyau 30 initialement rond soit maintenu entre elles dans un état comprimé, pratiquement ovale comme l'indique la référence 38. A cet égard, les extrémités en regard des plaques de serrage 36 sont espacées l'une de l'autre pour laisser exposée une section transversale du noyau.

Quand le noyau ovale 38 est serré dans la position représentée sur la Figure 2b, un outil de coupe, de préférence une scie à moteur comprenant une lame 40 de scie circulaire abrasive faite par exemple en oxyde d'aluminium ou en carbure de silicium avec un liant de résine ou de caoutchouc, est utilisée pour couper entièrement la section transversale exposée, mentionnée ci-dessus à partir d'un bord du noyau ovale jusqu'à son bord opposé. A cet effet, la scie à moteur elle-même peut

être une scie sur table ou une scie à bras radial, et un bloc 42 approprié, en acier ou autre matière rigide, est disposé de préférence à l'intérieur du noyau comme le montre la Figure 2b, pour recevoir le bord en saillie vers l'intérieur de la lame de scie 40 et la guider le long du noyau pendant qu'elle coupe sa section transversale exposée. En même temps, le bloc 42 sert de support entre la plaque de base 34 et les plaques de serrage 36 pour permettre une plus grande compression des tôles du noyau de chaque côté de la section transversale coupée. Cela réduit la possibilité de formation de fissures, de bavures, et/ou de foisonnement le long de la ligne de coupe. De toute façon, lorsque la coupe est effectuée, il en résulte plusieurs bandes de matière allongées non reliées entre elles.

Un métal amorphe est une matière non cristalline. Lorsque le métal amorphe est surchauffé, les caractéristiques magnétiques supérieures de cette matière se dégradent (c'est-à-dire qu'elle perd ses caractéristiques non cristallines). Par conséquent, une arrivée d'un agent de refroidissement inhibant l'oxydation est nécessaire pour éviter la surchauffe pendant la coupe. La pression de contact entre la matière et le disque de coupe est critique. De la chaleur est facilement développée sous l'effet d'une haute pression de contact. La pression de contact est contrôlée par la vitesse de rotation du disque et la vitesse d'avance de la pièce. Dans un mode réel de réalisation, la vitesse tangentielle du disque était 30,5 à 36,6 m/s et la vitesse d'avance de la pièce pour la coupe était 12,9 cm<sup>2</sup>/h. Cela peut, bien entendu, varier en fonction du disque de coupe et de la matière coupée. L'agent de refroidissement inhibant l'oxydation est fourni de façon continue sous la forme d'une pulvérisation, au moyen d'un dispositif approprié comprenant par exemple deux buses désignées par 44 sur la Fig. 2b. Dans un mode préféré de réalisation, l'agent de refroidissement est un agent à base d'eau,

particulièrement de l'eau contenant de l'huile Nu de Pittsburgh Chemical Manufacturing Co., comme inhibiteur d'oxydation. Néanmoins, pour éviter encore davantage l'oxydation, les différentes bandes allongées non reliées 5 entre elles qui résultent de l'opération de coupe décrite ci-dessus sont plongées dans un produit à base d'alcool, particulièrement de l'alcool méthylique pour éliminer la plus grande partie de l'eau de refroidissement. Les bandes non reliées sont ensuite chauffées dans un four, 10 de préférence à 125°C, pendant une période suffisante pour les sécher. Bien que l'invention ne soit pas limitée à un agent de refroidissement à base d'eau, bien qu'il soit préféré, et bien que l'invention ne soit pas limitée à des paramètres particuliers utilisés au séchage 15 des bandes, lorsqu'un agent de refroidissement à base d'eau est utilisé, la phase de séchage mentionnée ci-dessus est une phase très nécessaire dans le processus global pour éviter une oxydation excessive et un foisonnement. Le peu d'oxyde qui est laissé sur les bandes non 20 reliées, sous l'effet de l'eau, est si mince qu'il n'affecte pas de façon appréciable le facteur de volume entre les spires du noyau finalement formé, mais augmente avantageusement la résistance superficielle. Après ce traitement, les bandes non reliées peuvent glisser plus 25 facilement les unes sur les autres et ne se collent pas ensemble, de sorte qu'elles peuvent être séparées en groupes et recevoir les formes d'extrémité appropriées qui seront décrites.

Comme cela vient d'être indiqué, lorsque le noyau 30 ovale 28 a été coupé et que les bandes non reliées qui en résultent ont été séchées (en supposant qu'un agent de refroidissement à base d'eau a été utilisé), les bandes individuelles sont assemblées en un certain nombre de groupes avec des extrémités de forme appropriée, en 35 fonction du type particulier de joint 20 souhaité dans le produit final. La Figure 2c représente un groupe de bandes non reliées, désigné globalement par 46. Ce groupe

est représenté avec des extrémités 46a et 46b en forme de coin, nécessaire pour obtenir le joint final de la forme représentée sur la Fig. 1. Cette configuration particulière peut être obtenue en prenant initialement  
5 toute la pile des bandes non reliées et en les alignant au carré à une extrémité en appuyant sur les extrémités avec un bloc plat. Si une plus grande pente est souhaitée, les piles peuvent être décalées en serrant alternativement une extrémité de la pile et l'autre,  
10 en synchronisme avec une flexion de la pile. Pour certains types de joint, tels que des joints à recouvrement d'appui alterné, ce décalage est inutile. A l'exception du cas d'un joint en appui carré ou d'un joint en appui incliné, la pile est utilisée en les groupes  
15 individuels 46 mentionnés ci-dessus. Dans tous les cas, si les extrémités de chaque groupe doivent recevoir des revêtements tels que ceux décrits dans la demande de Brevet précitée, ces revêtements doivent être prévus à ce moment.

20 Lorsque les groupes individuels 46 sont formés, le groupe extérieur, c'est-à-dire le groupe des bandes non reliées qui sont les plus longues, est maintenu de façon fixe en une forme ovale (de préférence elliptique) avec ses extrémités amenées l'une contre l'autre et serrées pour rester en position, comme le montre la figure  
25 2d. Comme cela apparaît, le groupe extérieur 46 est maintenu dans la position décrite ci-dessus par tout moyen approprié, par exemple deux plaques de serrage 48 se faisant face. Lorsque le groupe extérieur 46 est  
30 ainsi positionné, les autres groupes sont placés successivement (un à la fois) à l'intérieur du groupe extérieur, en commençant par le groupe le plus long de ceux qui restent des bandes non reliées, et en terminant avec le groupe le plus court. Ce résultat est obtenu en fléchissant sur lui-même chaque groupe individuel de manière qu'il puisse être disposé concentriquement à l'intérieur du dernier groupe assemblé. Le grou-

pe ainsi sassemblé peut ensuite s'enclencher en position, de manière que ses extrémités opposées s'appuient l'une sur l'autre de la manière illustrée par la Fig. 2d. Bien que cela ne soit pas représenté, un fil, une bande  
5 ou autre dispositif approprié peut être prévu pour éviter que le noyau ne sorte de sa forme ovale (ou elliptique) finalement obtenue entre les plaques de serrage 48 lorsqu'elles sont enlevées. Le noyau ovale (ou elliptique) est désigné globalement par 49.

10 Lorsque le noyau 49 a été formé, si sa forme ovale ou elliptique n'est pas la forme finale voulue, il est amené dans cette dernière forme. Ce résultat est obtenu de la meilleure façon en utilisant une série de  
15 pinces qui peuvent être facilement placées. Par exemple, la Fig. 2e montre une série de plaques de serrage 50 intérieures et extérieures qui constituent une partie d'un appareil de serrage d'ensemble, facile à réaliser par  
20 tout spécialiste. Bien que cela ne soit pas représenté, l'ensemble de l'appareil comporte un dispositif destiné à régler l'espace entre les différentes plaques en regard et la position des plaques les unes par rapport  
25 aux autres pour obtenir la forme souhaitée du noyau. La Figure 2e montre que la forme ovale ou elliptique du noyau 48 de la Fig. 2d est convertie en une forme à peu près rectangulaire comme sur la Fig. 1. Ce noyau de  
forme quasi-rectangulaire, qui est désigné globalement par la référence numérique 53 porte une bobine électrique désignée globalement par 54 qui est bobinée autour  
30 d'une section du noyau 53 et qui est connectée à une source 56 de courant continu ou de courant alternatif, qui, en passant dans la bobine, développe un champ magnétique dans cette dernière. Dans un mode de réalisation, la valeur  
de ce champ est de 400 à 1600 A/m (5 à 20 oersteds), de préférence 800 A/m (10 oersteds). En même temps, l'ensemble du noyau  
35 est recuit, de préférence dans une atmosphère protectrice, par exemple dans le vide, dans un gaz inerte tel que l'argon, ou dans un gaz réducteur, par exemple un mélange d'azote et d'hydrogène. Dans un mode préféré

de réalisation, le noyau est recuit pendant une à trois heures, de préférence pendant deux heures, à une température de l'ordre de 340°C à 370°C (la plage de ces températures convient pour les matières METGLAS<sup>R</sup> 2605S et 2605SC de Allied Chemical Corp.). Le noyau est refroidi, de préférence progressivement, à une vitesse de 1,67°C par minute jusqu'à 150°C. Comme cela est bien connu, les pertes dans le noyau sont réduites lorsqu'il est recuit et soumis à un champ magnétique. Quand le noyau 52 a été recuit et soumis au champ magnétique, la bobine 54 peut être enlevée et l'enroulement ou les enroulements électriques 22 définitifs peuvent être placés autour d'une section du noyau, par tout moyen approprié, comprenant de préférence celui décrit dans la demande de Brevet précitée.

REVENDEICATIONS

1 - Procédé de réalisation d'un noyau de transformateur à partir d'un métal amorphe en bande, procédé caractérisé en ce qu'il consiste essentiellement à enrouler au moins une bande continue (24) de métal amorphe  
5 autour d'un mandrin cylindrique (28) pour former un noyau (30) initialement rond, ensuite à serrer (34, 36) ensemble des sections transversales dudit noyau initialement rond sur des côtés opposés d'une section transversale prédéterminée, de manière que cette dernière soit  
10 suffisamment exposée pour la couper au moyen d'un outil de coupe (40) spécifique, à couper entièrement ladite section transversale exposée avec ledit outil de coupe tout en appliquant simultanément (44) un agent de refroidissement liquide inhibant l'oxydation sur ledit noyau  
15 et sur ledit outil de coupe à la section exposée, afin de former ainsi plusieurs bandes allongées dudit métal non reliées entre elles, à libérer ledit noyau coupé et à separer lesdites bandes non reliées en un certain nombre de groupes (46) formées à leurs extrémités opposées d'une manière prédéterminée, à assembler lesdits  
20 groupes en un noyau (49) de forme pratiquement ovale en formant d'abord et en maintenant l'un extérieur desdits groupes (46) dans ladite forme ovale et en plaçant ensuite successivement les autres groupes, un à la fois,  
25 dans le groupe extérieur de manière que les extrémités opposées de chaque groupe définissent un segment d'un joint de forme spécifique dans la section transversale dudit noyau de forme ovale, à former (50) ledit noyau de forme ovale dans sa forme finale (53) s'il n'est pas  
30 déjà dans cette forme finale, et à recuire ensuite ledit noyau tout en le soumettant simultanément (54, 56) à un champ magnétique d'une intensité prédéterminée.

2 - Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que ledit agent de refroidissement contient de  
35 l'eau, lesdites bandes non reliées étant trempées dans une solution d'alcool et étant ensuite séchées à chaud

avant d'être assemblées pour former lesdits groupes.

3 - Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'opération de coupe est effectuée avec un disque abrasif (40) réalisé en oxyde d'aluminium ou en carbure de silicium avec un liant de résine ou de caoutchouc.

4 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que ledit noyau (53) à sa forme finale est recuit dans une atmosphère spéciale autre que l'atmosphère ambiante pendant environ 2 heures à une température comprise entre environ 340°C et 370°C, tout en le soumettant à un champ magnétique d'au moins 400 A/m à 1600 A/m environ.

5 - Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que ledit noyau recuit est initialement refroidi à partir de sa température maximale jusqu'à environ 150°C à une vitesse d'environ 1,67°C/minutes (ou 105°/heure).

6 - Procédé selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que ladite opération de coupe est contrôlée, ledit agent de refroidissement étant fourni de manière que la température de ladite matière en bande résultant de ladite opération de coupe reste suffisamment basse pour que ladite matière en bande conserve sa caractéristique amorphe, non cristalline.

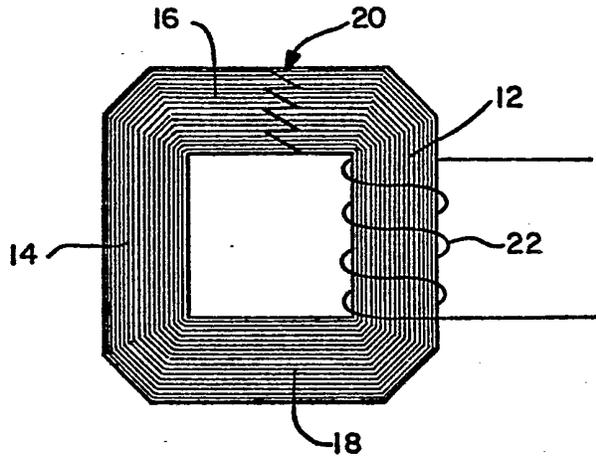


FIG.—1

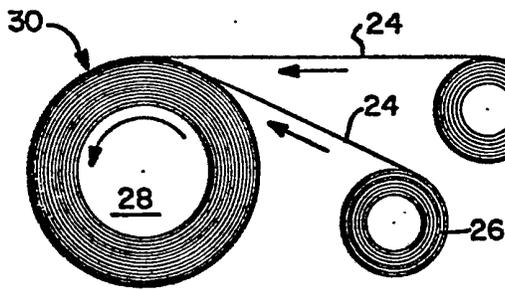


FIG.—2a

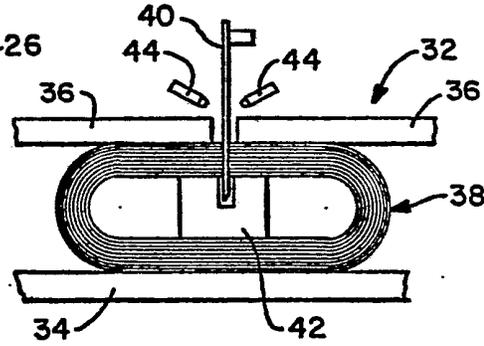


FIG.—2b

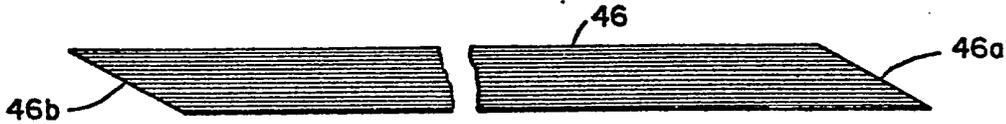


FIG.—2c

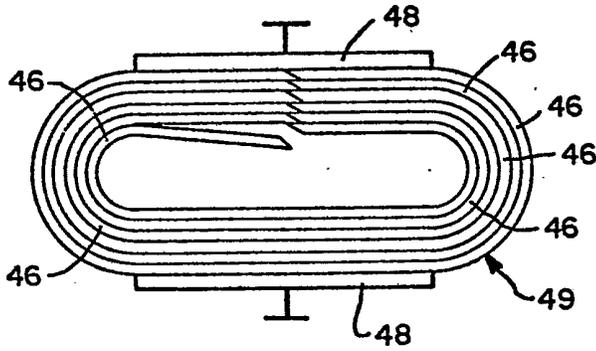


FIG.—2d

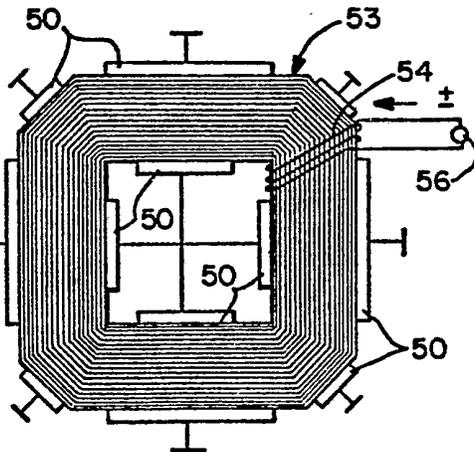


FIG.—2e