

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11) Numéro de publication: **0 482 635 A2**

(12)

DEMANDE DE BREVET EUROPEEN

(21) Numéro de dépôt: **91118152.7**

(51) Int. Cl.⁵: **H05B 6/36**, H05B 6/42,
H05B 6/14

(22) Date de dépôt: **24.10.91**

(30) Priorité: **25.10.90 US 603150**

(43) Date de publication de la demande:
29.04.92 Bulletin 92/18

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

(71) Demandeur: **HYDRO-OUEBEC**
75, Boulevard René Levesque Ouest
Montréal Québec H2Z 1A4(CA)

(72) Inventeur: **Dion, Jean-Luc**
3750 rue Montpellier
Trois-Rivières, Québec G8Y 3P2(CA)
Inventeur: **Simard, Rémy**
3140 rue Talbot
Trois-Rivières, Québec G8Y 2J5(CA)

(74) Mandataire: **Casalonga, Axel et al**
BUREAU D.A. CASALONGA - JOSSE
Morassistrasse 8
W-8000 München 5(DE)

(54) **Inducteur électromagnétique à noyau en ferrite servant à chauffer un matériau conducteur d'électricité.**

(57) Le présent dispositif de chauffage par induction (10) sert à chauffer des matériaux conducteurs d'électricité jusqu'à des températures dépassant 300 ° C. Le dispositif (10) comprend un noyau ouvert (12) fait d'un matériau ferrique. Une bobine de fil de Litz (15) est enroulée autour du noyau (12). Une source de puissance (17) est connectée aux extrémités (16) de la bobine (15) afin de produire un courant d'excitation dans cette dernière, à l'intérieur d'une gamme de fréquence variant de 12 à 25 kHz, de façon à générer un champ magnétique lorsqu'aimantée. Des tubes concentrateurs de flux magnétique (18) faits d'un matériau conducteur d'électricité

sont disposés autour de la bobine (15) et près du noyau (12) et sont noyés dans un matériau (19) qui est conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité dans l'intention de maximiser le flux utile. Un fluide de refroidissement circule au travers des tubes concentrateurs (18) afin de refroidir les tubes (18), le noyau (12) et la bobine (15). Une zone d'induction est définie par le champ magnétique, généré entre les pôles opposés (13,13') du noyau (12) et pénétrant à la surface de la pièce à être chauffée. La pièce est chauffée par les courants de Foucault générés par le champ magnétique variable sur la surface.

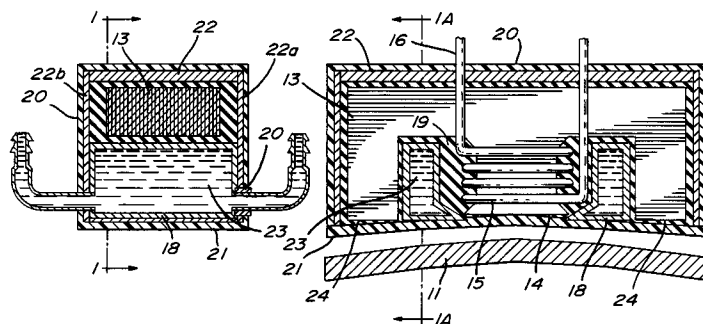


Fig. 1A

Fig. 1

EP 0 482 635 A2

La présente invention concerne un dispositif de chauffage par induction qui utilise un noyau ouvert fait d'un matériau ferrique muni d'une bobine de fil de Litz dans laquelle circule un courant d'excitation afin de produire un champ magnétique variable qui est concentré entre les pôles du noyau ouvert au moyen de concentrateurs de flux magnétique faits de tubes conducteurs d'électricité en contact rapproché avec un matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité afin de drainer la chaleur générée dans la bobine et le noyau, alors qu'un fluide de refroidissement est circulé dans les tubes concentrateurs.

Plusieurs types de dispositifs de chauffage par induction à haute fréquence ont été proposés dans l'art antérieur. Le brevet américain 4.359.620 représente un bon sommaire de la technique antérieure en décrivant que l'un des problèmes rencontrés au niveau des nombreux postes de chauffage par induction utilisant des noyaux magnétiques est celui des hautes pertes de chaleur dans leur noyau. Ceci est particulièrement vrai si l'intensité et la fréquence du champ magnétique fluctuant généré sont augmentées suffisamment afin d'être adéquates pour le soudage du métal, par exemple. Cependant, ceci entraîne le problème d'augmentation de la température du noyau, et le noyau se met à fondre. Les noyaux faits de matériaux magnétiques feuilletés qui sont utilisés dans la plupart des transformateurs ont de grandes pertes dues aux courants de Foucault ainsi qu'à l'effet pelliculaire qui en résulte à des fréquences excédant 20 KHz. De plus, la nature conductrice des feuilles du noyau présente un danger réel de choc électrique lorsqu'utilisées dans des postes de chauffage par induction ayant une grande quantité de puissance fournie à leurs bobines d'excitation.

Afin de tenter de réduire ce problème, le brevet américain 2.785.263 divulgue l'utilisation de noyaux faits de ferrite. Un tel matériau possède une perméabilité magnétique relativement élevée et une conductivité faible et s'est avéré comme étant un matériau d'utilisation idéale dans les postes de chauffage par induction. Cependant, d'autres problèmes se sont présentés à la suite de l'utilisation de tels noyaux et, plus particulièrement, afin de saturer les pôles pour qu'ils contribuent au maximum à la densité de flux générée dans une pièce disposée entre eux, il est nécessaire de saturer sensiblement le noyau au complet, ceci étant très inefficace et résultant à hautes fréquences, en d'énormes pertes de chaleur. Le brevet américain 4.359.620 tente de résoudre ce nouveau problème en utilisant une construction de noyau qui concentre un champ magnétique à haute densité de flux entre ses deux extrémités qui sont séparées de très peu et fuselées. Une tension périodique est alimentée au noyau et une capacité

est connectée au noyau d'excitation de façon à former un circuit en résonance qui est utilisé pour le contrôle de la fréquence et de la phase de la tension périodique alimentée au circuit afin de le maintenir en résonance. Encore une fois, ce brevet ne s'occupe pas des hautes pertes de chaleur dans le noyau et du problème du noyau et de la bobine qui sont soumis à de hautes températures, restreignant ainsi la grandeur de l'intensité de la densité de flux du champ magnétique généré, ce qui limite l'utilisation du poste de chauffage par induction dû à sa faible résistance à la chaleur et à son manque de constance dans son chauffage.

La présente invention a pour but de mettre au point un dispositif de chauffage par induction amélioré pour le chauffage de matériaux ferromagnétiques à des températures s'élevant au moins jusqu'à 300° C, ce dispositif surmontant les désavantages de l'art antérieur mentionnés ci-dessus.

La présente invention a aussi pour but de mettre au point un dispositif de chauffage par induction amélioré pour le chauffage de matériaux ferromagnétiques à des températures s'élevant au moins jusqu'à 300° C, dans lequel le noyau est fait d'un matériau ferrique et utilise une bobine de fil de Litz, et dans lequel l'amélioration réside dans des tubes concentrateurs de flux magnétique qui sont positionnés autour de la bobine à faible distance du noyau alors qu'un fluide de refroidissement circule à l'intérieur des tubes afin de refroidir le noyau et la bobine. Ceci permet que des courants d'excitation soient appliqués à la bobine dans une gamme de fréquence de 12 à 25 kHz de sorte que les courants de Foucault dans le champ magnétique produit puissent générer de 4 à 20 kW de chaleur dans une surface conductrice d'électricité et principalement ferromagnétique positionnée dans le champ. Les valeurs de température, de fréquence et de puissance ne sont qu'illustratives et en aucun cas limitatives.

La présente invention a également pour but de mettre au point un dispositif de chauffage par induction amélioré tel que décrit ci-dessus et, de plus, dans lequel le noyau et la bobine sont positionnés dans un matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité qui est un matériau composite constitué d'époxy et de cuivre ou d'aluminium en poudre.

La présente invention a également pour but de mettre au point un dispositif de chaleur par induction amélioré tel que décrit ci-dessus et dans lequel le noyau prend la forme d'un E qui pratique deux pôles opposés et un pôle central entre lesquels un champ magnétique est généré, autour du pôle central, la bobine étant enroulée avec des tubes concentrateurs étant positionnés autour de la

bobine et à proximité des pôles opposés afin d'augmenter le flux magnétique généré entre les pôles, à l'extérieur sur la surface à être chauffée.

D'après les buts précédents, une forme de réalisation avantageuse de l'invention fournit un dispositif de chauffage par induction pour chauffer un matériau conducteur d'électricité et principalement ferromagnétique à des températures allant au moins jusqu'à 300 °C. Le dispositif comprend un noyau ouvert fait d'un matériau ferrique, une bobine de fil de Litz enroulée autour du noyau, une source de puissance connectée à la bobine pour produire un courant d'excitation dans la bobine à l'intérieur d'une gamme de fréquence variant entre 12 et 25 kHz afin de générer un champ magnétique lorsqu'aimantée. Des tubes concentrateurs de flux magnétique faits d'un matériau conducteur d'électricité sont positionnés autour de la bobine et près du noyau dans un matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité. Un fluide de refroidissement circule dans les tubes concentrateurs afin de refroidir le noyau et la bobine. Une zone d'induction est définie par le champ magnétique généré entre les pôles opposés du noyau et orientable près d'une surface conductrice d'électricité afin de chauffer cette surface de façon électromagnétique au moyen de courants de Foucault générés entre les pôles opposés du noyau et concentrés entre ceux-ci par les tubes concentrateurs.

Une réalisation préférée de la présente invention sera maintenant décrite en référence aux dessins annexés dans lesquels:

Les figures 1 et 1A sont des vues en section illustrant la réalisation d'un dispositif de chauffage par induction suivant la présente invention; la figure 2 est une vue en perspective illustrant la configuration du dispositif de chauffage par induction de la figure 1;

la figure 3 est une vue en perspective illustrant l'utilisation du dispositif de chauffage par induction de la présente invention et, sur cette figure, plusieurs de ces dispositifs sont positionnés de façon rapprochée le long d'un rouleau chauffeur de calandrage tel qu'utilisé dans une machine à papier afin de sécher une feuille de papier continue;

la figure 4 est une vue en bout de la figure 3, et la figure 5 est une vue en plan illustrant le positionnement des inducteurs le long du cylindre de chauffage.

Se référant maintenant à ces dessins, et plus particulièrement à la figure 1, on montre généralement en 10 un dispositif de chauffage par induction suivant la présente invention qui est montré ici comme étant espacé de peu de la surface d'un rouleau de calandrage 11 d'une machine à papier de façon à chauffer le matériau ferromagnétique

positionné sur la surface extérieure du rouleau de calandrage. Le dispositif de chauffage comprend un noyau de ferrite 12 qui a la forme d'un E ménageant des bras opposés 13 et 13' et une jambe centrale 14 autour de laquelle une bobine 15 de fil de Litz est enroulée. La bobine 15 a des bornes 16 auxquelles une source de puissance contrôlable 17 (voir figure 2) est connectée de façon à alimenter un courant d'excitation à la bobine dans une gamme de fréquence de 12 à 25 kHz.

L'amélioration du dispositif de chauffage par induction suivant la présente invention réside dans la contribution de tubes concentrateurs de flux magnétique 18 qui sont positionnés autour de la bobine 15 de façon très rapprochée du noyau 12. Les tubes concentrateurs 18 sont positionnés dans un matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité 19 et sont espacés du noyau et de la bobine. Une extrémité des tubes 18 est isolée électriquement des plaques de côté 22a ou 22b illustrées dans la figure 1A. Le matériau 19 est un composite d'un époxy ou d'une résine synthétique généralement, et de cuivre ou d'aluminium en poudre qui est positionné dans l'enceinte 20. L'enceinte 20, telle qu'illustrée à la figure 2, est une enceinte rectangulaire formée d'un matériau de céramique en poudre et de fibre de verre. Une couche de peinture d'aluminium 21 est appliquée sur la surface d'induction de l'enceinte qui est positionnée à faible distance de la surface électromagnétique à être chauffée de façon à réduire le transfert de chaleur par radiation externe avec retour à la surface d'induction 21 de l'enceinte 20. Un bouclier en métal 22, 22a, et 22b est également positionné dans l'enceinte 20 et, tel qu'illustré ici, contre le mur supérieur et les deux murs de côté de cette dernière afin de blinder électromagnétiquement l'inducteur.

Tel qu'illustré à la figure 2, une alimentation en eau sous pression 23 est utilisée pour la circulation d'eau de refroidissement à travers les tubes concentrateurs de flux magnétique 18 de façon à refroidir le noyau et la bobine dans l'enceinte 20 chauffés par effet Joule à la surface des tubes et à l'intérieur de la bobine, et la chaleur en provenance de la surface de la pièce de travail. Cet effet de refroidissement permet l'application d'un courant d'excitation dans une gamme élevée de fréquence variant entre 12 et 25 kHz, d'où le dispositif de chauffage par induction 10 peut générer approximativement entre 4 et 25 kW de puissance alors que le fluide de refroidissement maintient la température interne de l'enceinte inférieure à 60 °C, ces valeurs étant non limitatives. Les tubes concentrateurs 18 concentrent également le champ magnétique produit entre les pôles 24 et 14. L'inductance du noyau varie également entre 40 et 125 μ H

dépendant des dimensions du noyau utilisé et de la fréquence de la source sélectionnée, ces valeurs étant non limitatives.

Maintenant avec référence additionnelle aux figures 3 à 5, il est montré une application typique d'un dispositif de chauffage par induction électromagnétique suivant la présente invention. Tel qu'illustré ici, plusieurs dispositifs de chauffage 10 sont positionnés de façon alternée, décalée et côte-à-côte le long d'un rouleau de calandrage de chauffage 30 d'une machine à papier (non illustrée). Les dispositifs de chauffage 10 sont peu espacés du rouleau 30 tel qu'illustré à la figure 4 et sont stationnaires par rapport au rouleau 30. Leur espacement spécifique et leur relation mutuelle permettent d'obtenir une température contrôlée le long de la largeur du rouleau. Ces dispositifs de chauffage 10 peuvent également être alimentés avec une puissance électrique ou une puissance parallèle dans un alignement en série ou individuellement. On contemple également l'installation de senseurs de température (non illustrés) pour détecter la température le long de la surface du rouleau 30 et leur utilisation pour le contrôle individuel des sources de puissance de façon à varier le courant d'excitation de leur bobine respective afin de contrôler de façon individuelle la chaleur générée par ces inducteurs, de façon à obtenir la disposition requise de la température le long du rouleau de calandrage.

Bien que les figures 3 à 5 sont relatives à une application dans la fabrication du papier, il est signalé que ces postes de chauffage par induction ont une multitude d'autres applications et ils pourraient, par exemple, être utilisés dans d'autres industries pour le laminage ou le glaçage d'un matériau en forme de feuille. Le rendement de ce dispositif de chauffage a également été calculé comme étant dans l'ordre de 95% lorsque calculé par la proportion de chaleur utile générée par rapport à la puissance électrique utilisée. Par exemple, dans l'application du rouleau de calandrage, les dispositifs de chauffage suivant la présente invention peuvent générer à peu près 250 kW de chaleur par mètre de longueur du matériau conducteur d'électricité utilisé dans la construction du rouleau de calandrage.

Il est entendu que la présente invention n'étant d'aucune façon limitée aux formes de réalisations décrites ci-dessus et que toutes modifications évidentes apportées à celles-ci demeurent dans le cadre de l'invention, pourvu que ces modifications tombent dans la portée des revendications ci-jointes.

Revendications

1. Un dispositif de chauffage par induction pour chauffer un matériau conducteur d'électricité et principalement ferromagnétique à des températures allant au moins jusqu'à 300 °C, ledit dispositif comprenant un noyau ouvert fait d'un matériau ferrique, une bobine de fil de Litz enroulée autour dudit noyau, une source de puissance connectée à ladite bobine pour produire un courant d'excitation dans ladite bobine à l'intérieur d'une gamme de fréquence variant entre 12 et 25 kHz afin de générer un champ magnétique lorsqu'aimantée, des tubes concentrateurs de flux magnétique faits d'un matériau conducteur d'électricité sont positionnés autour de ladite bobine et près dudit noyau dans un matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité, un fluide de refroidissement circulant dans lesdits tubes concentrateurs afin de refroidir ledit noyau et ladite bobine, une zone d'induction est définie par ledit champ magnétique généré entre les pôles opposés dudit noyau et orientable près d'une surface conductrice d'électricité afin de chauffer ladite surface de façon électromagnétique au moyen de courants de Foucault générés entre lesdits pôles opposés dudit noyau et concentrés entre ceux-ci par lesdits tubes concentrateurs.
2. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel ledit noyau est un noyau en forme de E et fait d'un matériau ferrique ayant une haute perméabilité magnétique, ledit noyau ayant des bras opposés dont les extrémités constituent lesdits pôles opposés et une jambe centrale autour duquel ladite bobine de fil de Litz est enroulée.
3. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel ledit noyau est supporté de façon isolée dans une enceinte construite d'un matériau non conducteur d'électricité, lesdits tubes concentrateurs refroidissant également l'intérieur de ladite enceinte.
4. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 3 dans lequel le matériau de ladite enceinte est un composite de céramique moulable et de fibre de verre, ladite enceinte ayant une peinture d'aluminium (non conductrice) sur au moins une surface d'induction afin de réduire le transfert de chaleur par radiation avec retour vers ladite surface d'induction.

5. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 4 dans lequel ladite enceinte est une enceinte rectangulaire ayant une surface inférieure d'induction formée selon la géométrie de la surface de la pièce de travail chauffée, et un bouclier en métal dans au moins un mur supérieur et deux murs de côté de ladite enceinte pour le blindage électromagnétique dudit inducteur. 5
- 10
6. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel ledit matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité est un matériau composite comprenant des résines synthétiques et du cuivre en poudre. 15
7. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel ledit matériau conducteur de chaleur mais non conducteur d'électricité est un matériau composite comprenant des résines synthétiques et de l'aluminium en poudre. 20
8. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel lesdits tubes concentrateurs sont connectés à un système de circulation de liquide pour refroidir ledit dispositif de chauffage chauffé par effet Joule à la surface desdits tubes à l'intérieur de ladite bobine, et auquel l'environnement extérieur contribue. 25 30
9. Un système de chauffage pour chauffer une surface mobile faite d'un matériau conducteur d'électricité, ledit système comprenant plusieurs dispositifs de chauffage par induction suivant la revendication 1, lesdits dispositifs de chauffage étant positionnés en travers de la direction de mouvement dudit matériau conducteur d'électricité à partir de ses rebords opposés. 35 40
10. Un système de chauffage suivant la revendication 9 dans lequel ladite surface mobile est une surface extérieure d'un rouleau de chauffage utilisé dans le traitement par chaleur de matériaux en forme de pellicule. 45
11. Un dispositif de chauffage par induction suivant la revendication 1 dans lequel lesdits dispositifs de chauffage ont chacun une surface d'induction de forme rectangulaire, lesdites surfaces d'induction desdits plusieurs dispositifs de chauffage étant positionnées de façon alternée, décalée et côte-à-côte le long dudit rouleau de chauffage. 50 55

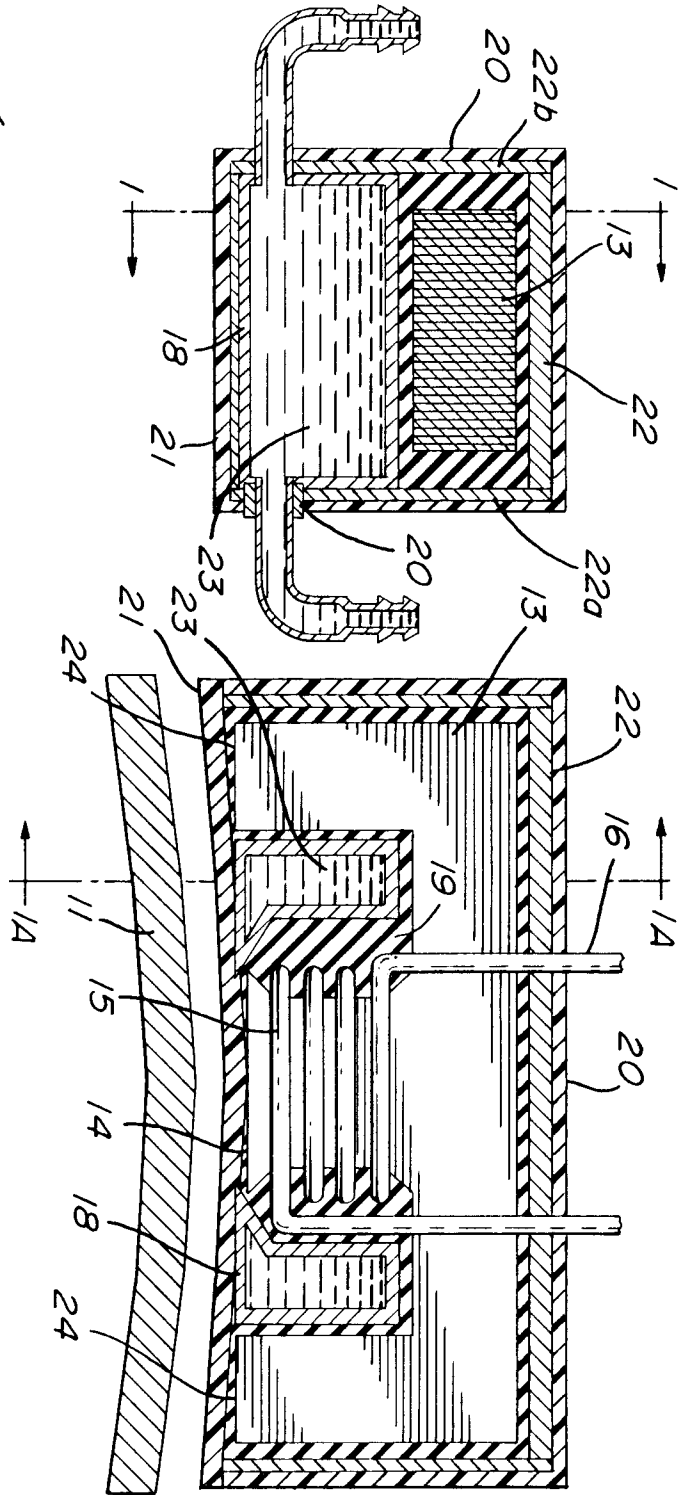


Fig. 1

Fig. 1A

