

Caractérisation de chauffage par induction à haute fréquences

¹ Hannachi Mohamed Tahar, ² Daheche Bilal

¹Département de génie mécanique, Université Larbi Tébessi, Tébessa, Algérie

²Département de génie mécanique, Université Abbas Laghrour, Khenchela, Algérie

Email: Mohamedtah334@gmail.com

Abstract—L'induction électromagnétique a pour particularité de générer la chaleur directement à l'intérieur du matériau à chauffer. Cette particularité présente de nombreux atouts par rapport aux méthodes de chauffe plus standard, notamment la réduction des temps de chauffe et des rendements élevés, ou encore la possibilité de chauffer de façon très locale. Les hautes densités de puissance mises en jeu permettent d'obtenir des vitesses de chauffe très rapides. Les variations des ces paramètres intervenant dans ce phénomène de chauffage sont mises en évidence par des courbes explicatives.

Keywords— induction, paramètres, chauffage, fréquence, soudage.

I. INTRODUCTION

L'induction électromagnétique est une technique de chauffage pour les matériaux conducteurs d'électricité (métaux), fréquemment utilisée pour de nombreux procédés thermiques tels que la fusion ou la chauffe des métaux. L'induction a pour particularité de générer la chaleur directement à l'intérieur du matériau à chauffer. Cette particularité présente de nombreux atouts par rapport aux méthodes de chauffe plus standard, notamment la réduction des temps de chauffe et des rendements élevés, ou encore la possibilité de chauffer de façon très locale. Les hautes densités de puissance mises en jeu permettent d'obtenir des vitesses de chauffe très rapides [1]. Le chauffage par induction est une méthode de chauffage rapide et homogène destinée à des applications de fabrication qui exigent de coller ou de transformer les propriétés de métaux ou d'autres matériaux conducteurs. Ce procédé repose sur des courants électriques induits au sein de la matière en vue de produire de la chaleur. Bien que les principes de base de l'induction soient bien connus, les récents progrès en matière de technologie des semi-conducteurs ont transformé le chauffage par induction en une méthode remarquablement simple et rentable pour les applications de collage, de traitement, de chauffage ou d'essai de matériaux. Le chauffage par induction électromagnétique est basé sur deux phénomènes physiques, l'induction électromagnétique et l'effet joule. Les avantages de ce procédé sont nombreux : une zone de chauffage contrôlée, une vitesse de chauffage qui peut être extrêmement rapide, une faible inertie, un chauffage direct de la pièce, un haut rendement, une très bonne reproductibilité [2-5]. Une application importante du chauffage est le procédé de soudage des tubes à hautes fréquences (hf).

II. MATERIAUX ET PROCÉDÉ

Le matériau de l'étude est un acier de construction de dénomination française E24-2, dont la composition chimique est indiquée dans le tableau 1. La nuance est indiquée par une lettre E suivie d'un nombre correspondant à la limite d'élasticité minimale à la traction. Le chiffre (2) indique l'indice de qualité [6-7]. D'après la composition chimique donnée par le tableau 1.

L'acier considéré (E24) appartient au groupe d'aciers à faibles pourcentage en carbone (aciers doux) et à double constituants (ferrite et perlite), avec une dominance de ferrite (89%), c'est pourquoi il est dit aussi acier ferritique.

TABLEAU 1. COMPOSITION CHIMIQUE DE L'ACIER S235JR

C %	Mn %	Si %	S %	P %	AL %
0,09	0,36	0,01	0,009	0,008	0,062

Physiquement, tous corps électriquement conducteur est le siège de courant dits aussi courant de Foucault, lorsqu'il est plongé dans un champ électromagnétique variable dans le temps, c'est la conséquence de la loi de Lenz ou loi de modération: «le système tend à s'opposer aux variations qu'on lui impose » la circulation des courants induits dans le matériau résistif entraîne par effet joule une élévation de température dans la pièce en pratique dans une installation de chauffage par induction le composant chauffé appelé aussi charge est plongé dans un courant excitateur circulant dans inducteur, dans une opération de chauffage par induction l'élévation de température dans la pièce varie plus au moins rapidement en fonction de l'amplitude du courants excitateur et par conséquent, des courants induits l'élévation de température se produit aussi, plus au moins localement, suivant la fréquence du courant source, c'est l'effet de peau, ainsi le chauffage peut être superficiel ou pelliculaire. Le feuillard passe entre les galets de formage et courbé progressivement jusqu'à devenir un tube ouvert dans le sens longitudinal (voir Fig. 1).

Avant l'opération de soudage, la largeur de la fente est maintenue constante par un galet ou une lame afin de conserver des caractéristiques géométriques constantes lors

du soudage. L'énergie nécessaire au soudage est transmise au tube (encore ouvert dans le sens longitudinal) par une bobine (inducteur). Cette transmission est effectuée par induction, sans contact avec le tube (voir Fig. 2.)

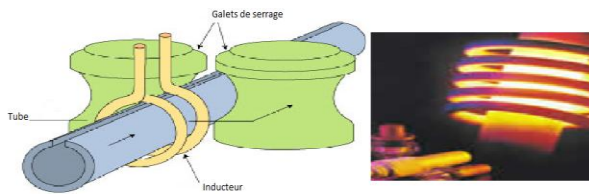


Fig. 1. Principe de chauffage par induction.

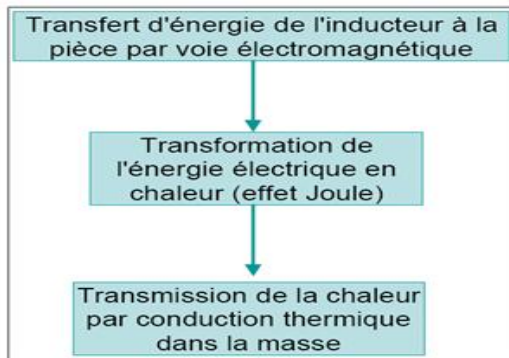


Fig. 2. Transfert de l'énergie électrique.

Plus la fréquence d'alimentation f augmente, plus les courants induits se concentrent en surface. D'après la loi de Lenz, le sens du courant de Foucault (formule 1) est toujours inverse à celle du courant inducteur. Comme le courant inducteur, le courant de Foucault crée son champ magnétique alternatif. Les deux champs, avec leurs directions inverses, s'annulent partiellement l'intérieur du métal. Ce n'est que près des bords qu'il reste un champ résultant: on parle de l'effet de peau (épaisseur chauffée) (formule 2) [8]. La répartition exacte de la densité de courant dans la pièce dépend des caractéristique, physique du matériau chauffé, de sa forme, et de la position de l'inducteur, du niveau et de la fréquence du courant dans l'inducteur.

$$i = e^{-1/d} \quad (1)$$

On définit alors une profondeur de pénétration ou épaisseur chauffée d , où le courant induit est réduit de $1/\exp$ (37 % i_s) où i_s est la valeur du courant induit à la surface. Il y a donc concentration de l'effet calorifique dans cette couche qui représente 87% de l'énergie dissipée. La pénétration augmente au fur et à mesure que la résistivité (voir Fig. 4.) et diminue lorsqu'il y'a évolution de fréquence (figure II.3). Nous voyons alors que plus la fréquence est haute, plus l'effet thermique est peu profond (l'épaisseur chauffée) (voir Fig. 5).

$$d = \sqrt{\frac{\rho}{\pi \mu_0 \mu_r f}} \quad (2)$$

ρ , Résistivité électrique ; d , couches chauffées ;
 μ_0 et μ_r , Perméabilités magnétique du vide et relatif ;
 f fréquence d'excitation

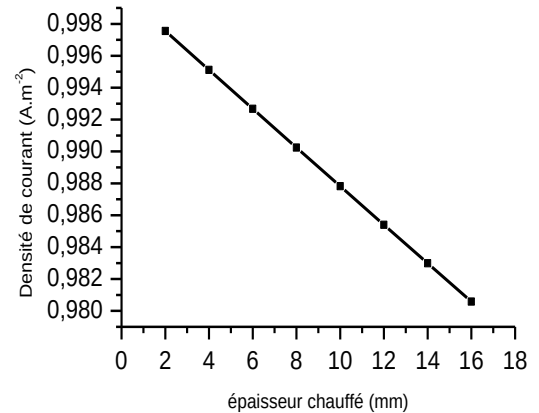


Fig. 3. Densité du courant en fonction de l'épaisseur chauffée.

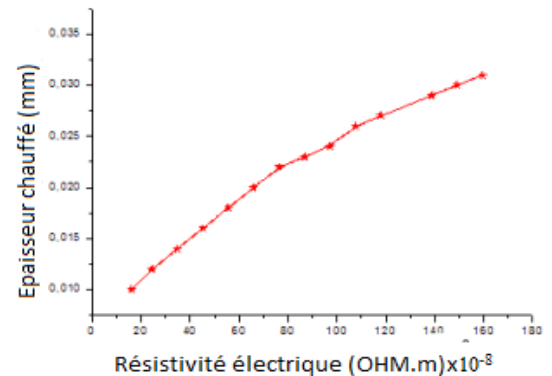


Fig. 4. Résistivité électrique en fonction de l'épaisseur de chauffe.

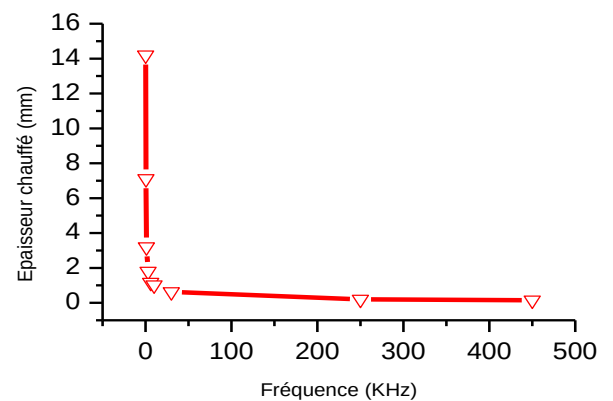


Fig. 5. Epaisseur chauffée en fonction des fréquences.

La Fig. 6, illustre les vitesses en fonction des diamètres extérieurs des tubes, tout en présentant les intervalles des fréquences critiques.

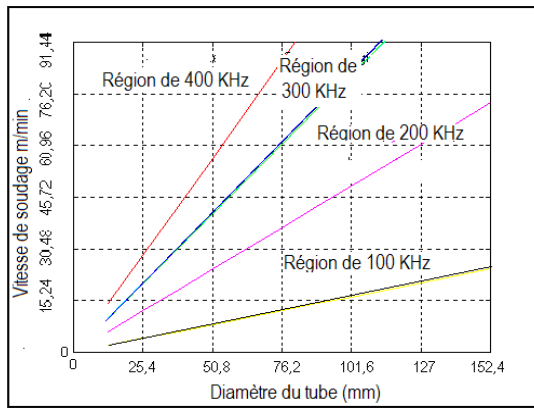


Fig. 6. Vitesse en fonction des diamètres et des fréquences.

Un centre froid peut limiter la vitesse maximum de soudure, même si la ligne à une capacité additionnelle de puissance (voir Fig. 7).

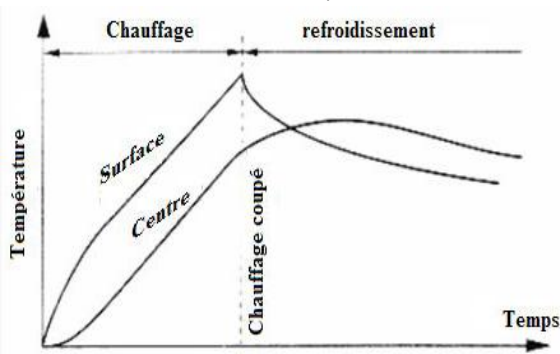


Fig. 7. Evolution de la température à la surface et au coeur [9].

III. DISCUSSION DES RESULTATS

Le courant induit décroît de façon exponentielle, On définit alors une profondeur de pénétration ou épaisseur de peau chauffé d , où le courant induit est réduit de $1/\exp$ (environ 0.37 ou 37% i_s) où i_s est la valeur du courant induit à la surface. Il y a donc concentration de l'effet calorifique dans cette couche qui représente 87% de l'énergie dissipée. L'expression de d , fonction de la fréquence utilisée f . L'effet de peau est la tendance d'un courant électrique alternatif de se distribuer dans un conducteur de sorte que la densité de courant près de la surface du conducteur soit plus grande qu'à son noyau. Il cause la résistance efficace du conducteur à l'augmentation avec la fréquence du courant. Elle est proportionnelle à la racine carrée de la résistivité de l'induit. Celle-ci, pour les métaux, croît généralement avec

la température. Au lieu d'utiliser la totalité de la section du conducteur ils se cantonnent dans les couches proches de la surface du conducteur.

La résistivité électrique, étant dépendante de la température du matériau, est d'autant plus importante que, pour libre parcours moyen donné le nombre de collisions est élevé. L'évolution de la résistivité électrique globale du matériau, revient à modéliser les champs de température sur toutes les surfaces du matériau. Le temps d'échauffement jusqu'à la température de fusion est extrêmement court (seulement 0,1 s pour une vitesse moyenne de 30 m/min et une épaisseur de 3 mm), le gradient de température doit être extrêmement élevé avec l'augmentation du puissance. Les basses fréquences exigent une plus grande section transversale d'impédance, mais pour des grandes productions de tube aux diamètres importants, ce n'est pas le facteur limitateur. Le matériau à chauffer joue un rôle dans la réduction de la puissance pour différentes fréquences, cela est dû à l'augmentation du temps de chauffe et par suite le franchissement de l'épaisseur importante. Le chauffage du matériau régit l'augmentation de la température en fonction du temps est lisible. Au niveau des bords assemblés du tube, le cordon de soudure se présente comme un sablier, y compris la zone affectée par la chaleur (ZAC), et les coins sont chauffés plus que le centre. Cela a pour conséquence : Un centre froid peut limiter la vitesse maximum de soudure, même si la ligne à une capacité additionnelle de puissance.

ACKNOWLEDGMENT

Je dédie ce modeste travail à tous les chercheurs Algériens.

REFERENCES

- [1] P. Roman, Modeling of surface heat treatment by induction ,2003, pp.6 .
- [2] S. Wanser, Simulation of the phenomena of induction heating, Application, l'ecole centrale de lyon 7, 1995, pp.2.
- [3] W. C. Rudd, High-frequency resistance welding, IEEE Transactions on Industry Applications IA-10(4):485-495, August 1974, DOI: 10.1109/TIA.1974.349184 (1957) 703-707.
- [4] M. F. Barteri M., F. Fazio, S. Fortunati, Gli Acciai inossidabili Nei Sistemi Di Scarico Degli Autoveicoli, La Metalurgia Italiana, 1999.
- [5] J. Ivan de Santana, Balsamo Paulo and P. Modenesi, High frequency induction welding simulating on ferritic stainless steels. Journal of Materials Processing Technology 179 (2006) 225-230. doi:10.1016/j.jmatprotec.2006.03.063.
- [6] G. MURRY and Jean-Pierre Pescatore, 2003, Aciers de construction métallique, technique de l'ingénieur, traité construction, C2501 V4.
- [7] P. Viarouge, J. Cros and I. Houara, Conception des machines électriques avec matériaux Fer, revue international de génie électrique Vol.5, N°2 2002, pp.299-310.
- [8] I. Lakhtine , Metallography and heat treatment of metals, Edition MIR (1982), pp. 254.
- [9] Paul Scott, Key parameters of high frequency welding, Thermatool Corp., East Haven CT USA, Mars 1999.