

Simulation en 2D du soudage par induction des tubes en Acier

ZEMMIT Abderrahim

dept. Génie Electrique ,univ de M'sila
 line 2-name of organization, acronyms acceptable
 line 3-City, Country
 E-mail : zemmit.mi@gmail.com

BENSAID Samir

dept. Génie Electrique ,univ de Bouira
 line 2-name of organization, acronyms acceptable
 line 3-City, Country
 E-mail : bensaid2011@gmail.com

Abstract— Notre approche est essentiellement basée sur l'étude de modélisation et simulation de soudage par induction électromagnétique a haut fréquence des pipes ligne il s'agit d'assembler deux tubes de diamètre quelconque. Nous avons décrits les modèles mathématiques électromagnétiques et thermiques de notre configuration à souder que nous utilisons et étudier en détail l'influence des différent paramètres sure la qualité de soudage.

Keywords— soudage par induction; pipes ligne; modèles électromagnétiques et thermiques;

I. INTRODUCTION

A. Soudage des pipes ligne (transport du pétrole)

La figure(1) illustre la mise en œuvre, basée sur l'utilisation d'un inducteur mono spire, du soudage par induction appliquée à des tubes en acier pour le transport du pétrole.

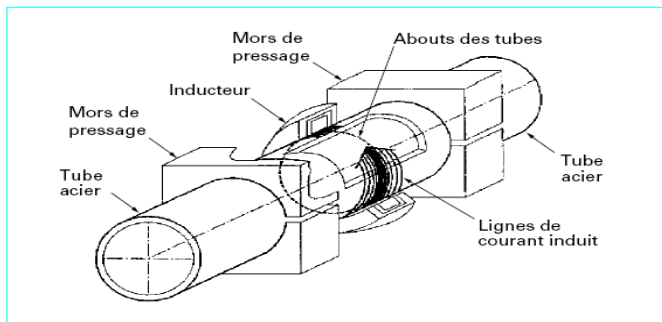


Fig. 1 . Soudage bout à bout par induction de tubes pour le transport du pétrole

II. MODELISATION DE LA CONFIGURATION A SOUDER (GEOMETRIE CYLINDRIQUE)

Cette configuration est définie par deux cylindres creux de longueur et diamètre quelconques.ces cylindres peuvent être

des tubes de transport de gaz ou d'eau domestique, des gazoduc, ou bien les pipes lignes ou bien tout autre utilisation.

Dans la zone d'assemblage, comme dans le cas de la configuration plane, on insert un matériau de conductivité élevée, d'épaisseur très faible et de température de fusion supérieure ou égale a celle des cylindres à assembler.

Les deux matériaux à assembler peuvent être conducteurs ou isolants électriques

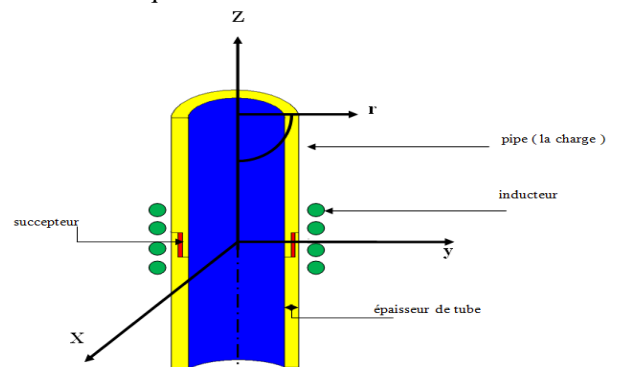


Fig. 2 . géométrie cylindrique

l'inducteur est de forme solénoïdale . Le courant dans l'inducteur est principalement suivant ϕ (dans le repère cylindrique (E_r, E_ϕ, E_z)), le potentiel A est également dans ce sens " $A(0, A\phi, 0)$ ". Nous somme alors dans une configuration axisymétrique.

En prenant en compte les hypothèses simplificatrices la géométrie d'étude devient :

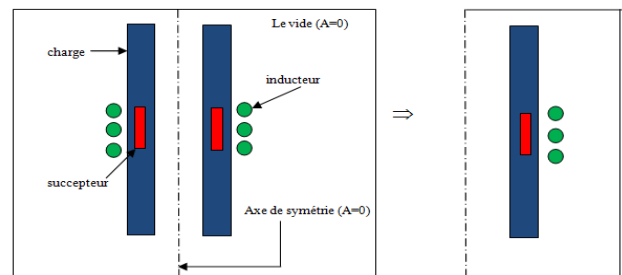


Fig. 2 . géométrie 2D

A. Equations générales :

Les équations de Maxwell permettent de décrire tout phénomène électromagnétique

$$\begin{aligned} \text{div } \vec{B} &= 0 \\ \text{div } (\varepsilon \vec{E}) &= \rho_{total} = (\rho_{lie} + \rho \text{ libre}) \\ \text{rot } \vec{E} &= -\partial \vec{B} / \partial t \\ \text{rot } \vec{H} &= \vec{J} + \partial(\varepsilon \vec{E}) / \partial t \end{aligned}$$

Les principaux modes de transmission de la chaleur en général sont la conduction, la convection et le rayonnement. La conduction correspond à un transfert de chaleur entre deux points internes d'un solide sous l'influence d'un gradient de température. Elle est régie par la relation de Fourier suivante:

$$\phi = -\lambda \cdot \text{grad} (T)$$

Où [T] représente la température en Kelvin, [ϕ] le flux thermique, et [λ] la conductivité thermique du matériau dépend de la température et de l'état physique de celui-ci (solide, liquide, vapeur).

Le comportement thermique du matériau est régi par le bilan calorifique suivant:

$$-\text{div}(\phi) + q = \rho \cdot C_p (\partial T / \partial t)$$

Où [ρ] est la masse volumique, [C_p] est la capacité calorifique, [q] est la densité de puissance générée (densité de puissance induite ou puissance thermique).

Echanges par convection :

$$-[\lambda] \cdot [\partial T / \partial n]_s = h \cdot (T_f - T_a)$$

Avec h coefficient de convection exprimé en ($Wm^{-2}K^{-1}$), T_a est la température ambiante.

Echanges par rayonnement :

$$-[\lambda] \cdot [\partial T / \partial n]_s = \varepsilon \sigma_b \cdot (T_f^4 - T_a^4)$$

Où ε est l'émissivité et σ_b la constante de Stefan-Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} Wm^{-2}K^{-4}$).

B. Equation aux dérivées partielles à résoudre :

La densité de courant \vec{J} représente la contribution des courants sources, aussi bien que la contribution des courants induits, le courant \vec{J} est suivant ϕ aussi le vecteur potentiel \vec{A} .

L'équation à résoudre est :

$$\text{rot} \left(\frac{1}{\mu} \text{rot } \vec{A} \right) = \vec{J}_{ext} + \vec{J}_{ind}$$

Où \vec{J}_{ext} et \vec{J}_{ind} sont respectivement le courant de source et le courant induit, μ est la perméabilité.

$\vec{J}_{ext}, \vec{J}_{ind}$ est également suivant ϕ

$$\vec{J}_{ind}(0, \vec{J}_{ind\phi}, 0) \quad \text{et} \quad \vec{J}_{ex}(0, \vec{J}_{ex\phi}, 0)$$

En coordonnées cylindrique:

$$\text{rot } \vec{A} = -\frac{\partial A_\phi}{\partial z} \vec{e}_r + \frac{1}{r} \partial \left(\frac{r A_\phi}{\partial r} \right) \vec{e}_z$$

$$\text{et : } \left(\frac{1}{\mu} \right) \text{rot } \vec{A} = -\frac{1}{\mu} \frac{\partial A_\phi}{\partial z} \vec{e}_r + \frac{1}{\mu r} \frac{\partial (r A_\phi)}{\partial r} \vec{e}_z$$

$$\text{donc : } \text{rot } \frac{1}{\mu} (\text{rot } \vec{A}) = -\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(r A_\phi)$$

Equation global:

$$-\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(r A_\phi) + \sigma \frac{\partial A_\phi}{\partial z} = J_{\phi ext}$$

On pose : $A_y = r A_\phi$

$$-\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(A_y) + \sigma / r \left(\frac{\partial A_y}{\partial t} \right) = J_\phi$$

Dans le vide

$$-\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(A_y) = 0$$

Dans l'inducteur (région amagnétique ou circules les courant sources)

$$-\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(A_y) = J_\phi$$

Dans l'induit ou charge (région ou circules les courant induit)

$$-\text{div} \frac{1}{\mu r} \text{grad}(A_y) + \sigma / r \left(\frac{\partial A_y}{\partial t} \right) = 0$$

C. Résolution du problème thermique :

Nous nous intéresserons uniquement à la distribution des températures dans la charge. Donc on ne résout le problème thermique qu'au niveau de la charge.

Les modes de transfert de chaleur qui s'exercent dans la charge sont, le mode par conduction avec le coefficient de conduction thermique λ le mode par convection avec un coefficient d'échange avec l'air h . Le mode par rayonnement ne sera pas prait en compte.

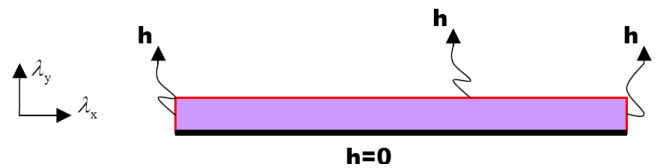


Fig. 3 . Domaine de résolution du problème thermique

Le maillage étant le même que pour la résolution du problème électromagnétique. On résout l'équation aux dérivées partielles, issue de la combinaison de l'équation du flux thermique et de l'équation du comportement thermique du matériau, au niveau de la charge qui s'écrit :

$$\rho_v C_p \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - \text{div}(\lambda \cdot \text{grad}(T)) + h \cdot (T - T_{front}) = q$$

Avec :

ρ_v : masse volumique du matériau .

λ : conductivité thermique du matériau.

C_p : chaleur spécifique du matériau.

T : température dans la plaque .

T_{front} : température aux frontières de la plaque (température du milieu ambiant).

h: coefficient d'échange thermique avec le milieu ambiant (Air).
q : puissance induite dans le tube .

III. RESOLUTION DES EDP PAR LA METHODE DES ELEMENTS FINIS DANS L'ENVIRONNEMENT MATLAB-PDETOOL.

Sur MATLABpdeool on réalise un code de calcul (programme) en utilisant les différentes fonctions (sous programmes) disponibles.

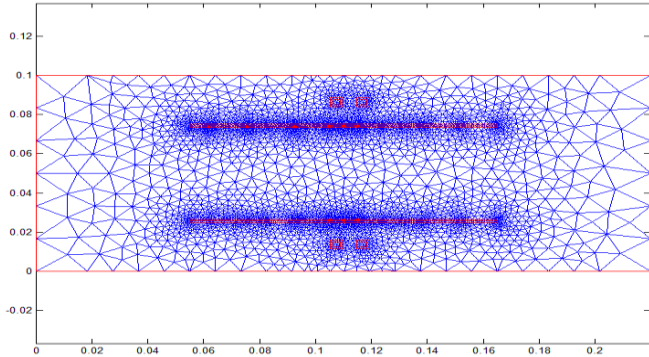


Fig. 4 . Maillage de la géométrie

A. Influence des paramètres de soudage :

Les paramètres importants dans le soudage par induction peuvent être classer en deux catégories qui sont :

- *les paramètres physiques* : la fréquence et le courant de l'alimentation , les conductivités électriques et thermiques, le produit des masses volumiques par les chaleurs spécifiques des différent matériaux utilisés .
- *les paramètres géométriques* : la forme et les dimensions de l'inducteur, l'entrefer (lift off), les dimensions du suscepteur, et les dimensions des matériaux a souder.

1) Influence de la conductivité thermiques

On applique cette technique pour souder deux types de pipes, pipes en plastique (PVC) et pipe en acier(transport du pétrole).les figure (6)et (7) montre la puissance induite et la température de soudage.

a) pipes en plastique

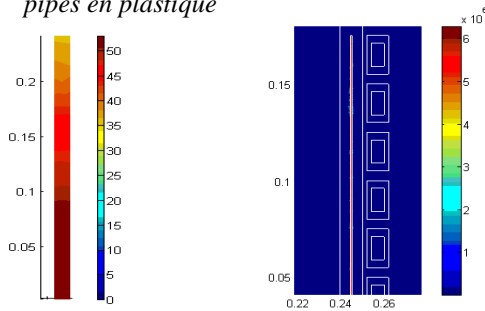


Fig. 5 . La température[°C]

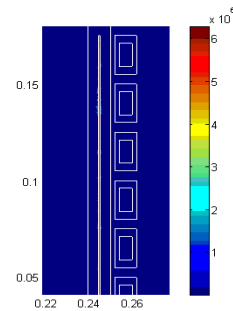


Fig. 6 . la puissance [W]

b) pipes en acier

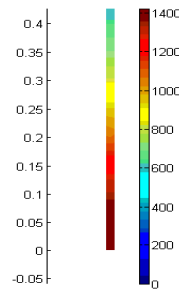


Fig. 7 . La température[°C]

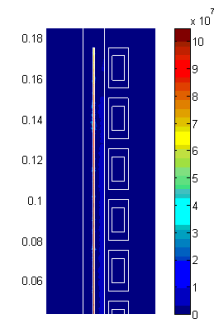


Fig. 8 . la puissance [W]

Fig. 3 . Domaine de résolution du problème thermique

Après les figure en remarque que la distribution de la puissance dans le cas où les pipes à souder sont des isolants où mauvais conducteurs se retrouve dans la région du suscepteur, donc l'échauffement excite également dans cette région, par contre dans le cas où les pipes sont des matériaux bon conducteur où très bon conducteur la distribution de puissance est superficiel.

En peut conclure que le choix de la conductivité électrique du plaque a souder est très important pour la qualité de soudage.

2) Influence de La fréquence d'alimentation

En variant la fréquence d'alimentation de 1Khz jusqu'a et en laissant fixe le courant à 400A, on va étudier le comportement électromagnétique et thermique du soudage de deux pipes isolantes de propriétés thermiques données par le tableau (Annexe). On utilise un suscepteur de conductivité électrique égale à $5.8 \cdot 10^6$ S, ses propriétés thermiques sont également données par le tableau. On considère que tous les matériaux utilisés sont amagnétiques .

Les figures ci-dessous montre l'évolution de la puissance et le courant total induits dans la charge en fonction de la fréquence d'alimentation.

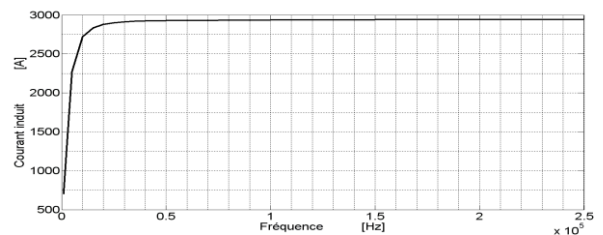


Fig. 9 . courant induit en fonction de la fréquence .

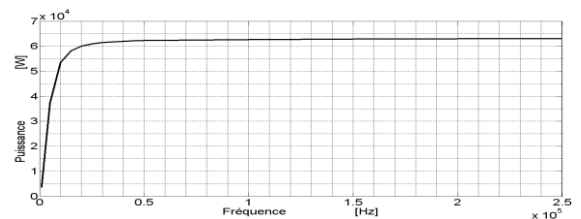


Fig. 10 . puissance induite en fonction de la fréquence.

On remarque que le courant induit et la puissance induite augmente avec l'augmentation de la fréquence, cette augmentation est due essentiellement à l'effet de peau qui dépend étroitement de la fréquence.

L'évolution de puissance et de courant induits en fonction de la fréquence peut être classée en deux parties, une partie de variation rapide (épaisseur de peau inférieure à dix fois l'épaisseur du suscepteur) et une partie de variation lente (épaisseur de peau supérieure à dix fois l'épaisseur du suscepteur).

3) conductivité électrique du suscepteur

En variant la conductivité électrique du suscepteur de $5 \cdot 10^3$ S/m jusqu'à $6 \cdot 10^7$ S/m et en laissant fixe le courant à 400 A. Les propriétés physiques des deux pipes isolantes restent inchangées. De même pour les propriétés thermiques du suscepteur. Nous allons faire une étude de comportement pour deux fréquences 50 kHz et 100 kHz.

La figure 11 montre l'évolution de la puissance induite dans la charge en fonction de la conductivité électrique du suscepteur.

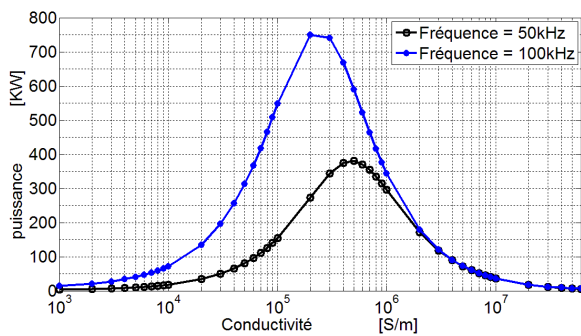


Fig. 11. la Puissance en fonction de la conductivité.

On remarque que la puissance induite passe par un maximum pour une certaine valeur de la conductivité électrique du suscepteur. Ce maximum est d'autant plus élevé que la fréquence est elle-même élevée, et il se déplace vers les faibles conductivités avec l'augmentation de la fréquence.

La figure 12 montre l'évolution de la température en fonction de la conductivité électrique du suscepteur pour un second chauffe.

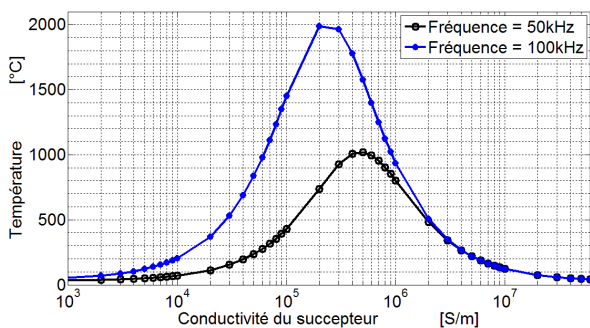


Fig. 12. température en fonction de la conductivité électrique.

la température passe par un maximum pour une certaine valeur de la conductivité électrique du suscepteur. Ce maximum est d'autant plus élevé que la fréquence est elle-même élevée, et il se déplace vers les faibles conductivités avec l'augmentation de la fréquence.

Donc, on peut conclure que dans notre cas d'étude on a pas à choisir un suscepteur très bon conducteur.

IV. CONCLUSION

Dans cet article, faire une étude électromagnétique et thermique par simulation numérique (méthode - éléments finis) du procédé de soudage par induction de pipes.

Le modèle est capable de décrire le comportement du processus réel en tenant compte de la variation des propriétés des matériaux.

Les résultats montrent que le modèle peut être utilisé pour l'analyse et la conception de ce type de procédé industriel.