



HAL
open science

Etude thermique et dynamique d'un bain fondu lors d'un soudage profond par laser

Nabil Allalou, Mohamed Debiane

► **To cite this version:**

Nabil Allalou, Mohamed Debiane. Etude thermique et dynamique d'un bain fondu lors d'un soudage profond par laser. JITH 2007, Aug 2007, Albi, France. 5p. hal-00164965

HAL Id: hal-00164965

<https://hal.science/hal-00164965>

Submitted on 29 Aug 2007

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ETUDE THERMIQUE ET DYNAMIQUE D'UN BAIN FONDU LORS D'UN SOUDAGE PROFOND PAR LASER

Nabil ALLALOU⁽¹⁾, Mohamed DEBIANE⁽²⁾

USTHB, BP 32 EL ALIA, Faculté de Physique,

Beb Ezzouar, 16111 ALGER, ALGERIE

⁽¹⁾ *n_allalou2004@yahoo.fr*

Résumé:

Dans le présent travail, nous étudions le processus de soudage par laser d'une plaque métallique qui se déplace avec une vitesse constante U . Les champs dynamique et thermique sont déterminés à l'aide du logiciel FLUENT utilisant la méthode des volumes finis pour résoudre les équations de Navier-Stokes et de l'énergie. La prise en compte du changement de phase liquide solide est réalisé par la méthode enthalpique et l'influence de la vitesse de déplacement U , ainsi que les nombres adimensionnels, à savoir Peclet (Pe), Prandtl (Pr) et Stefan (Ste) sur les caractéristiques de l'écoulement sont particulièrement étudiés.

Mots clés: Navier- Stokes, énergie, volumes finis, changement de phase, soudage, FLUENT, bain fondu.

1. INTRODUCTION

Avec le développement des sources lasers de puissance, la technologie laser a pris une place importante dans les industries manufacturières et de transformation des métaux. Aussi dans le but d'utiliser cette technologie de façon efficace, une bonne compréhension des phénomènes se produisant lors des traitements est nécessaire. Dans le cas d'un soudage, non seulement la connaissance de la géométrie de la zone fondue est importante, mais aussi les champs dynamique et thermique qui permettent de déterminer les caractéristiques de l'assemblage. Le soudage par laser utilise des densités d'énergie supérieures à 10^5 W/cm^2 permettant la formation d'un capillaire de vapeur métallique, appelé Keyhole, au sein de la pièce à souder. L'énergie thermique est alors transférée au métal sur toute la hauteur du capillaire depuis l'intérieur de la pièce. Dans ce cas de soudage profond par laser, l'éjection des gouttelettes est négligeable et la modélisation du bain fondu est plus simple. Brüggemann et coll [1] et Mahrle et coll [2] utilisent un modèle bidimensionnel (2-D) pour étudier les champs de vitesses et de température dans le bain fondu. Brüggemann et coll supposent que le Keyhole a une forme cylindrique et que le champ de vitesse autour du Keyhole peut être représenté par un écoulement potentiel. Ils ont résolu l'équation d'énergie de forme adimensionnelle pour obtenir la distribution de la température sur la surface de la pièce. Mahrle et coll ont proposé, pour améliorer cette modélisation bidimensionnelle, une résolution des équations de Navier- Stokes afin d'obtenir le champ dynamique dans le bain fondu. Le changement de phase liquide solide est pris en compte via l'augmentation de la capacité thermique au voisinage du point de fusion. Ils ont aussi proposé une méthode pour estimer l'énergie absorbée par le matériau lors du soudage. Xiao Hi et Xi Chen [3] ont employé une modélisation tridimensionnelle où ils ont pris en compte les effets de tension superficielle et de convection naturelle. Ils ont conclu que le rôle de la tension superficielle est essentiel sur la forme du bain fondu.

2. FORMULATION DU PROBLEME

La figure 1 montre illustre le processus de soudage en mode keyhole étudié dans ce travail. Lorsque la puissance laser est suffisante pour évaporer une fine couche de matière, un capillaire étroit et profond est créé à l'intérieur du bain de métal en fusion. Nous admettons les hypothèses suivantes:

- Le problème est bidimensionnel (figure 2) avec l'origine des axes est placé au centre du keyhole.
- La forme du keyhole est circulaire de rayon a et il est porté à la température de vaporisation T_v .
- Le fluide dans la zone fondue est supposé newtonien et incompressible.
- On travail dans le cadre d'un régime stationnaire et que l'écoulement est laminaire.

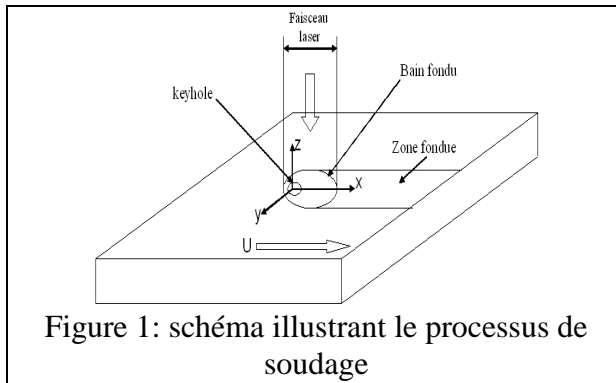


Figure 1: schéma illustrant le processus de soudage

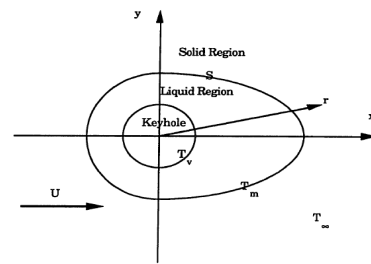


Figure 2: description bidimensionnelle du problème

Nous choisissons U comme vitesse de référence, a comme longueur de référence, $\Delta T = T_v - T_0$ comme température de référence et ρU^2 comme pression de référence. Nous définissons aussi les nombres adimensionnels suivants:

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p}, \text{Re} = \frac{a \rho U}{\mu}, \text{Pr} = \frac{\nu}{\alpha}, \text{Ste} = \frac{C_p (T_v - T_0)}{L}$$

Les équations de mouvements et de l'énergie deviennent alors:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial x} + S_u \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = \frac{1}{\text{Re}} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial p}{\partial y} + S_v \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \frac{1}{\text{Pe}} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + S_h \quad (4)$$

Les conditions aux limites associées au problème précédent sont comme suit:

- En amont : $u=1, v=0$ et $T = 0$.
- En aval : $u=1, v=0$ et $T = 0$.
- Sur les parois latérales : $u=1, v=0$ et $T = 0$.

- Sur le Keyhole : $u_r = 0$, $\frac{\partial u_\theta}{\partial r} = 0$, et $T = 1$.

Les équations du problème sont résolues par le logiciel FLUENT qui repose sur la méthode des volumes finis. L'algorithme Simple est utilisé pour le traitement du couplage vitesse pression. Un grand nombre de nœuds est nécessaire au voisinage du keyhole où il y a un fort gradient de vitesse.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

Les figures (3 a, b, c et d) représentent l'évolution des isothermes pour diverses valeurs du nombre de Peclet. L'influence de ce dernier se traduit par une élongation des isothermes dans la direction de soudage avec un resserrement en amont du keyhole suivi d'un étalement en aval. On remarque aussi que la zone chaude diminue lorsque le nombre de Peclet augmente. La diminution de la zone chaude implique la diminution de la zone affectée thermiquement ce qui réduit les risques des défauts.

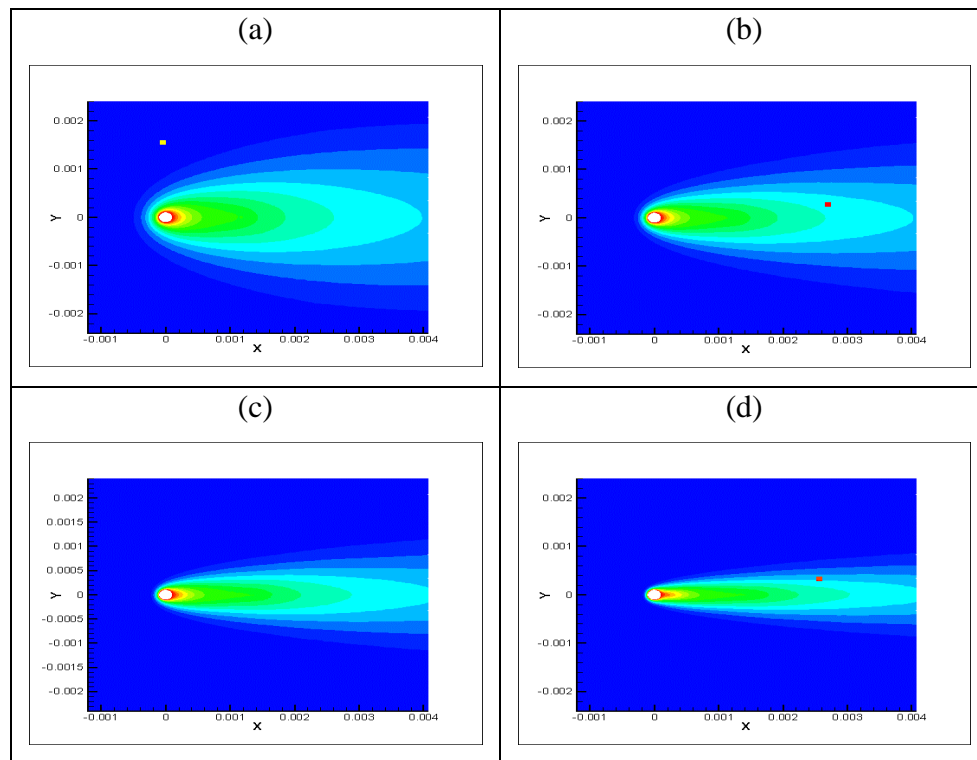


Figure 3: Contours des isothermes pour diverses valeurs de Peclet avec $Pr=0.1$, $T_m = 0.5$ et $Ste=5.0$. (a) $Pe=0.5$, (b) $Pe=1$, (c) $Pe=2$, (d) $Pe=4$.

Les contours de bain fondu pour diverses valeurs de Peclet sont représentés sur la figure (4a, b, c et d). Nous remarquons que lorsque le nombre de Peclet augmente, la longueur du bain fondu augmente alors que la largeur diminue, ceci est dû au mouvement de la pièce entraînant un mouvement d'advection de fluide, dans le bain fondu, dans la même direction de soudage.

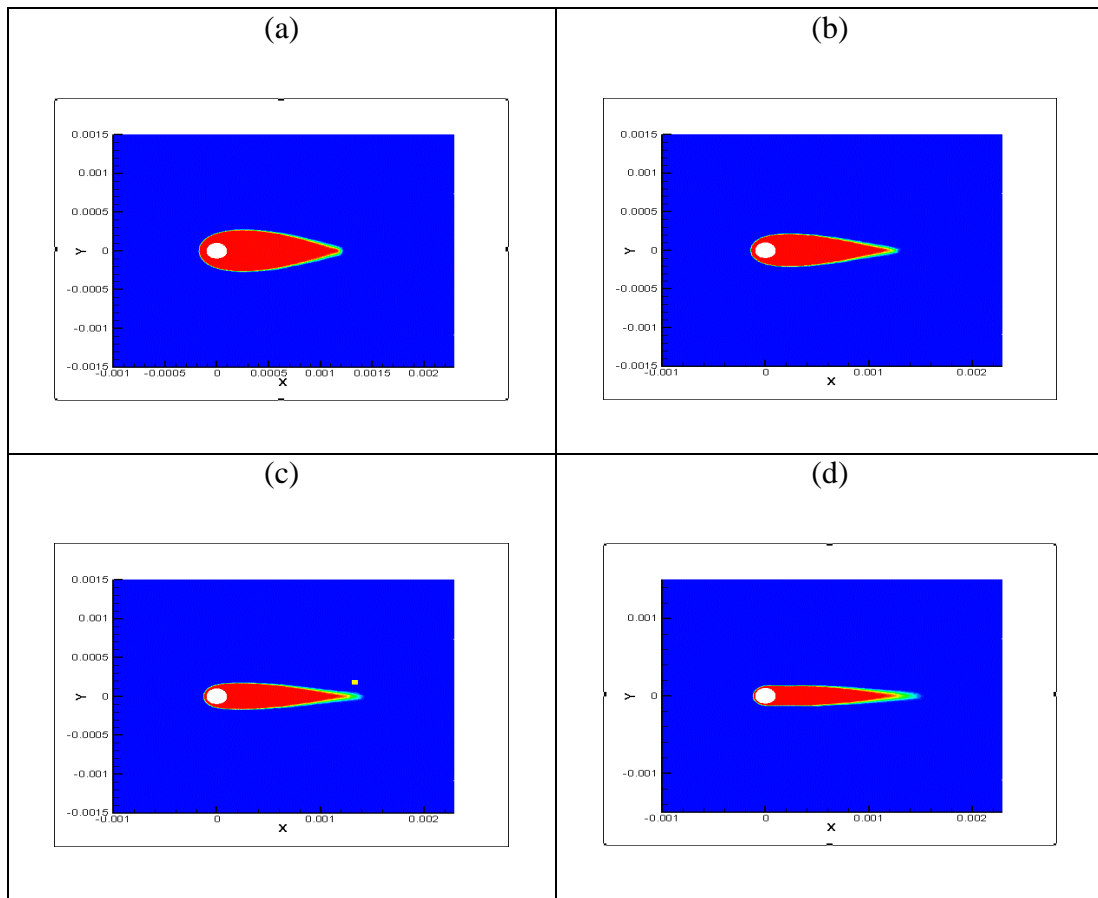


Figure 4 : Contours des bains fondus pour diverses valeurs de Peclet avec $Pr=0.1$, $T_m = 0.5$ et $Ste=5.0$. (a) $Pe=0.5$, (b) $Pe=1$, (c) $Pe=2$, (d) $Pe=4$.

La figure 5 montre l'évolution de la longueur et de la largeur adimensionnelles en fonction du nombre de Peclet, cette figure compare les résultats obtenus dans la présente étude avec celle de Mahrle et coll [2]. On remarque bien que pour la largeur, nos résultats concordent bien avec celle de Mahrle et coll. [2], ce qui est n'est pas le cas pour la longueur. On trouve une surestimation de la longueur de bain fondu par rapport avec celle trouvée par mahrle et coll [2], ceci peut être est dû à la différence entre les modèles de terme source utilisée dans les deux approches.

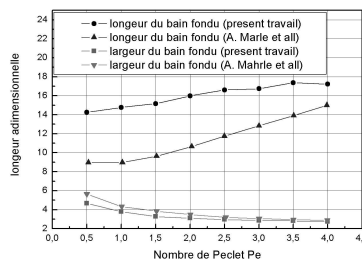


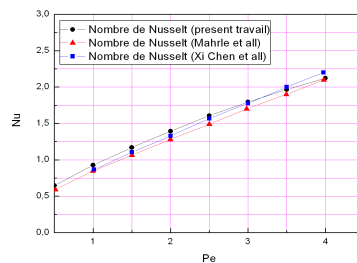
Figure 5: L'évolution de la longueur et de la largeur adimensionnelles en fonction du nombre de Peclet.

On définit le nombre de Nusselt moyen par la relation suivante :

$$N_u = -\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} a(T_v - T_0) \frac{\partial T}{\partial r} d\theta \quad (5)$$

La figure 6 montre l'évolution du nombre de Nusselt moyen en fonction de nombre de Peclet, on remarque bien qu'il y a une concordance de nos résultats avec ceux de Mahrle et coll. [2] et Xi Chen et coll. [3]. De cette courbe, on peut tirer les informations suivantes:

- Si on connaît la puissance fournie par le laser, on peut calculer le nombre de Nusselt, puis on déduit le nombre de Peclet à partir de la figure 6. Pour une vitesse de soudage donnée et en utilisant la définition du nombre de Peclet ($Pe = Ua / \gamma$) on peut estimer le rayon du keyhole.
- Ou encore si on peut déterminer le rayon de keyhole (par exemple par voie expérimentale), on peut calculer le nombre de Peclet pour une vitesse de soudage donnée. Et on peut déduire de la figure 6 le nombre de Nusselt moyen correspondant, et puis en utilisant la relation (5), on peut déterminer l'énergie absorbée par la pièce.



CONCLUSION

Nous avons présenté un modèle bidimensionnel qui permet d'aborder la simulation des transferts thermiques au sein d'un bain liquide, avec prise en compte du changement de phase liquide/solide. La zone fondue et la zone chaude diminuent lorsque le nombre de Peclet augmente.

Références

- [1] G. Brüggemann, A. Mahrle and Th. Benziger, Comparison of experimental determined and numerical simulated temperature fields for quality assurance at laser beam welding of steels and aluminium alloyings, *NDT & E Int.* 33, pp 453-463, 2000.
- [2] A. Mahrle, J. Schmidt, D. Weiss, Simulation of temperature fields in arc and beam welding, *Heat and Mass Transfer*, 36, pp117-126, 2000.
- [3] Hi. Xiao, Xi. Chen, Three-dimensional modelling of heat transfer and fluid flow in laser full-penetration welding, *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 35, pp1049-1056, 2002.