

INFLUENCE DU PLASMA DE SURFACE FORMÉ AU COURS DU SOUDAGE LASER SUR LA DISTRIBUTION DE LA TEMPÉRATURE

S. LEMKEDDEM, O. K. BABAHANI et F. KHELFAOUI

Laboratoires LENREZA et LRPPS et Département Sciences de la Matière, Faculté des Sciences et Technologies et des Sciences de la Matière, Université Kasdi Merbah – Ouargla, 30000 Ouargla, Algérie

E-mail: slemkeddem@gmail.com

RÉSUMÉ : Le soudage par laser est une technique qui permet de réaliser des soudures étroites et profondes, à des vitesses élevées. Ceci est dû à la très forte densité d'énergie apportée par ce procédé. Le capillaire est une source de chaleur qui sert à déterminer la distribution de la température. Lors de l'interaction du rayon laser avec la matière, plusieurs effets peuvent être considérés. Parmi ces effets la formation d'un plasma à la surface. Ce dernier peut être considéré comme une seconde source de chaleur. Le but de ce travail est de déterminer l'influence de cette seconde source sur la température.

MOTS-CLÉS : soudage laser, métal, température, plasma, méthodes des différences finies

1. Introduction

En raison de ses avantages par rapport aux autres techniques d'assemblage, le soudage au laser est l'un des processus de fabrication les plus importants. Le rayonnement laser est focalisé pour obtenir de grandes densités de puissance. Au cours du soudage, une grande énergie du faisceau laser fond rapidement la surface de la pièce. La grande densité de puissance permet de générer un capillaire rempli de vapeurs métalliques dont les parois sont tapissées de métal liquide en fusion.

2. Description du modèle physique

La composition du milieu et les différents phénomènes thermiques qui peuvent être considérés sont illustrés sur la figure 1.

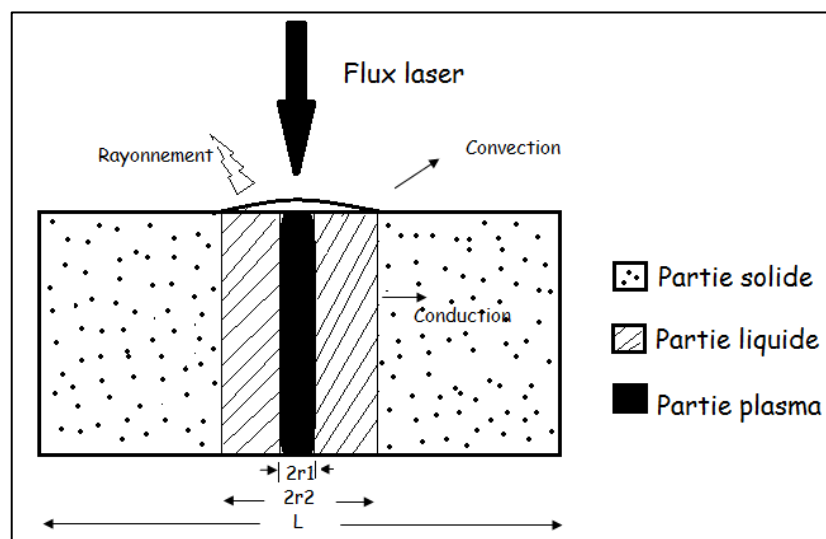


Figure 1 : Phénomènes thermiques

Les dimensions des trois parties qui constituent le milieu dépendent de la vitesse de soudure, des propriétés physiques du métal et de la puissance du faisceau laser.

1^{er} partie : Plasma (le capillaire ou le keyhole)

C'est la zone affecté directement par le laser, elle est supposée de forme cylindrique de même diamètre que le faisceau laser.

2^{ème} partie : Le métal fondu

Cette partie est supposée de forme cylindrique ; la température peut être considérée égale à la moyenne arithmétique entre la température de fusion et la température de vaporisation.

3^{ème} partie : le reste du métal à l'état solide.

3. Définition du modèle mathématique

L'équation du départ est l'équation de la chaleur :

$$\frac{\partial \rho(T)C(T)T(x_i, t)}{\partial t} - \text{div}(\lambda(T)\text{grad}T(x_i, t)) - Q = 0 \quad (1)$$

Après des simplifications la relation devient :

$$\rho c \frac{\partial T(x_i, t)}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \quad (2)$$

3.1. Les conditions initiales et les conditions aux limites

La figure ci-dessous représente la description du milieu :

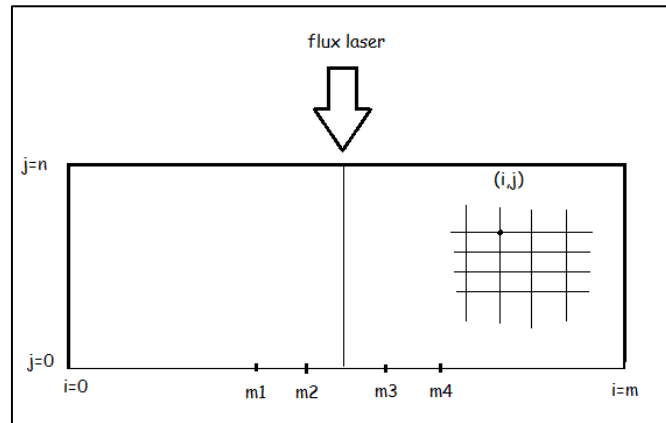


Figure 2 : Description du milieu

Avec :

$$\delta t = t_{max}/n ; n = j_{max}$$

$$\delta x = L/m ; m = i_{max}$$

$$m_1 = (L - 2r_2)/2 \delta x$$

$$m_2 = (L - 2r_1)/2 \delta x$$

$$m_3 = m_2 + 2r_1 / \delta x$$

$$m_4 = m_1 + 2r_2 / \delta x$$

Les conditions aux limites sont:

$$T(x, t) = T_{vaporisation} \text{ pour } 0 \leq x \leq r_1, \text{ quelque soit } t.$$

$$T(x, t) = T_{fusion} \text{ } r_1 \leq x \leq r_2, \text{ quelque soit } t.$$

Les conditions initiales sont :

$$T(x, t) = T_{ambiante} \text{ sur toute la 3^{ème} partie de la pièce lorsque } t = 0.$$

Par la méthode des différences finies [2], l'équation différentielle (2) sera simplifiée et on aura une des solutions :

$$T_{i,j} = -aT_{i-1,j+1} + (1+2a)T_{i,j+1} - aT_{i+1,j+1} \quad (3)$$

$$T_{i,j+1} = aT_{i-1,j} + (1-2a)T_{i,j} + aT_{i+1,j} \quad (4)$$

On peut calculer par approximations successives les valeurs des variables. On arrête le calcul lorsqu'on atteint de faibles écarts entre les valeurs successives des variables $T^{(k)}$ [2].

4. Résultats

Les résultats seront comparés avec des résultats expérimentaux. La figure 3 nous montre l'évolution de la température en fonction du temps à différentes positions par rapport à l'axe du cordon (le centre). Cette évolution est obtenue à l'aide des essais sur des échantillons instrumentés par des thermocouples [3].

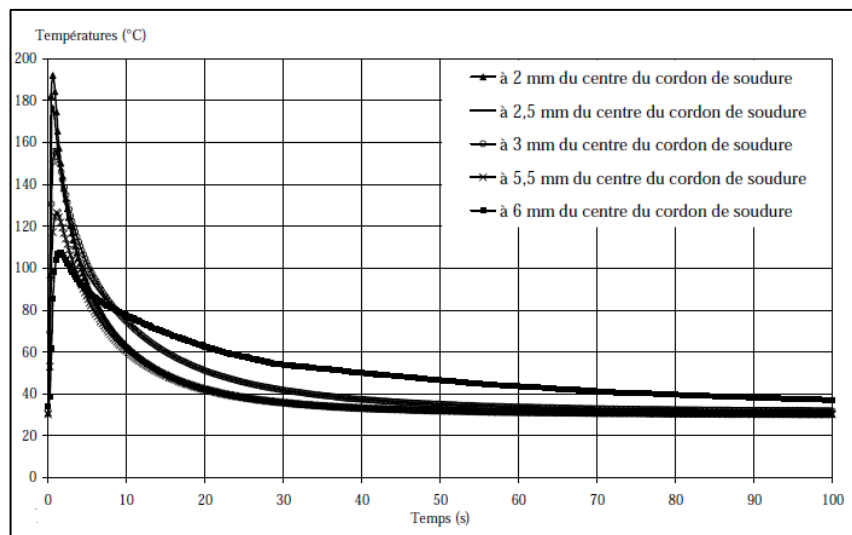


Figure 3 : Températures en fonction du temps pour différentes positions [3]

La création du capillaire s'accompagne d'un plasma à la surface du bain de fusion. Ce plasma est formé de vapeurs ionisées à très haute température, qui s'échappent du capillaire [4]. Ce plasma peut être considéré comme une autre source de chaleur qui aide à augmenter les dimensions de la zone fondue. Cela probablement influe sur la distribution de la température dans la pièce.

Références

[1] M. Sibony et J.-C. Mardon; *Approximations et équations différentielles*; Ed. Hermann (1982)

[2] O. Babahani; Thèse de magister; "*Contribution à l'étude des plasmas lors de déposition sur couches minces par procédés CVD*"; Université de Ouargla (2004)

[3] A. Belhadj; thèse de doctorat; "*Contribution à l'étude expérimentale et numérique du soudage laser: application aux alliages de magnésium*"; École Nationale d'Ingénieurs de Tunis et l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers France (2009)

[4] Y. Robert; Thèse de doctorat; "*Simulation numérique du soudage du TA6V par laser Yag impulsif: caractérisation expérimentale et modélisation des aspects thermomécaniques associées à ce procédé*"; École des Mines de Paris (2007)