

## MODELING OF THE THERMAL BEHAVIOR OF METALS DURING WELDING LASER USING BEAM

S. Lemkeddem\* and F. Khelfaoui

Laboratoire LENREZA, Département de Physique, Faculté des Sciences, Technologie  
et des Sciences de la Matière, Université de Ouargla, Ouargla 30000

Received: 25 November 2012 / Accepted: 02 December 2012 / Published online: 30 June 2012

### ABSTRACT

The laser welding provides a very high energy density, this allows the use of welds narrow, deep and at high speeds. Because of its advantages over other joining processes, laser welding is a process of manufacturing the most important. In order to model the thermal behavior, we must study the different phenomena that may be involved in the operation. The temperature distribution in the workpiece can be determined from the heat equation which expresses the energy balance. This is a parabolic differential equation and for resolution we applied the finite difference method using the implicit scheme.

**Keywords:** Laser Welding, Metal, Finite differences, temperature profile.

### 1. INTRODUCTION

Les Lasers sont excellents par leur finesse spectrale, et leurs variations temporelles allant du continu à l'impulsion de quelques femtosecondes [1]. On les rencontre dans tous les domaines. Depuis la fin des années 80, l'usage du soudage laser est passé du développement en laboratoire de recherche aux activités industrielles. Le soudage par faisceau laser offre de faibles déformations, d'excellentes propriétés mécaniques associées à la qualité d'aspect et aux faibles dimensions des cordons de soudure.

---

Author Correspondence, e-mail: [slemkeddem@gmail.com](mailto:slemkeddem@gmail.com)

[ICID: 1020741](#)

## 2. SOUDAGE LASER

Le soudage au laser permet d'obtenir des joints étroits et ne produit quasiment aucune déformation structurale. Le traitement des surfaces au laser couvre un grand nombre d'applications, dont le recuit, la trempe, le revêtement ou le nettoyage de surfaces. On l'utilise souvent dans le cas de très gros volumes de production dans l'industrie. Quelle que soit l'application, les lasers constituent un outil précis et adaptable, ils sont en continuelle évolution.

## 3. TYPES DE LASER POUR LASER

Les deux types de lasers utilisés le plus couramment en soudage sont les lasers à solides (surtout les lasers Nd-YAG) et les lasers à gaz (surtout les lasers CO<sub>2</sub>) [2]. On présente ici ces deux types de lasers, leurs fonctionnements, le milieu excité, les longueurs d'onde et la puissance de sortie. On parler aussi du soudage laser hybride et du soudage avec un double faisceau laser comme dérivé du soudage laser.

### 3. 1. Lasers CO<sub>2</sub>

Dans les lasers à gaz le milieu actif est un gaz pur ou en mélange. Le milieu est habituellement excité par une décharge électrique. Les puissances de sortie des lasers à gaz peuvent atteindre 25 kW [3]. Le laser à gaz moléculaire le plus connu est le laser à dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Il est particulièrement utilisé dans l'usinage des matériaux (coupure, soudure,...) et la chirurgie. Chaque dispositif laser fonctionne avec un mélange qui lui est propre est qui est fixé par le fabricant. Les gaz constituant le milieu émetteur sont le CO<sub>2</sub> pour l'émission laser, l'azote (N<sub>2</sub>) pour exciter le CO<sub>2</sub> et l'hélium (He) pour désexciter et refroidir [4]. Le laser CO<sub>2</sub> émet à de nombreuses longueurs d'onde dans l'infrarouge mais est surtout utilisé à 9,4 et à 10,4 μm.

### 3. 2. Lasers Nd-YAG

Le milieu actif dans les lasers solides est un verre ou un cristal. Les lasers à solide fonctionnent généralement grâce à un pompage optique (une lampe à décharge ou un autre laser) et couvrent une grande partie du spectre. Le laser Nd-YAG (grenat d'yttrium-aluminium dopé au néodyme) est un cristal utilisé comme amplificateur. Il désigne le composé solide Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub> dopé de néodyme Nd<sup>3+</sup>. Ces lasers émettent avec des longueurs d'onde de l'ordre du micromètre 1,06 μm [2]. Le laser Nd-YAG peut être réalisé en mode continu ou pulsé. La puissance varie généralement de 100 à 1kW [2]. Des lasers de fortes puissances sont en pleine évolution [3-10kW], et jusqu'au 45kW [5].

### 3. 3. Soudage laser hybride

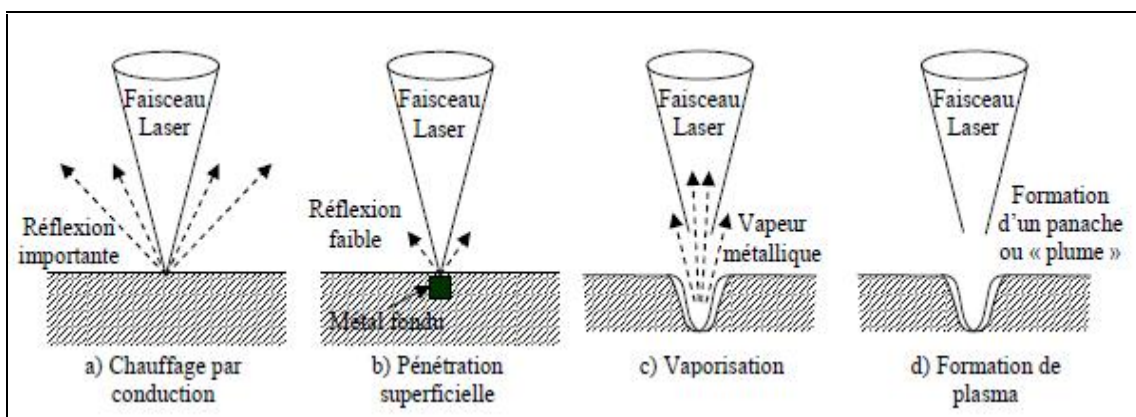
Le soudage laser hybride combine le soudage laser avec la technique du soudage à l'arc (TIG, MIG-MAG ou plasma). Il cumule les avantages de ces deux procédés. Ceci permet une grande souplesse de positionnement des pièces. Le soudage à l'arc apporte du métal en fusion pour remplir le joint, et le laser augmente la vitesse de travail par rapport à ce qui est réalisable avec l'arc seul. La qualité du soudage est aussi améliorée[6].

## 4. MODELISATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE

Depuis plusieurs années, de nombreux travaux de recherche ont été réalisés pour l'étude des différents phénomènes qui gouvernent les procédés de soudage. La modélisation numérique est un outil de prédiction du comportement des matériaux pour l'optimisation des procédés laser [5-7-8-9-10-11-12-13].

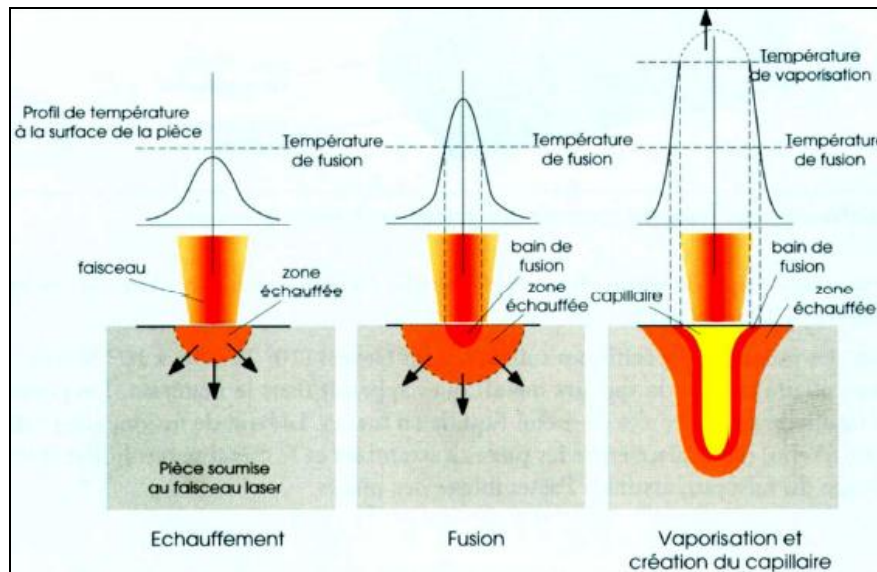
### 4.1. Description du modèle physique

Plusieurs phénomènes physiques interviennent de manière couplée dans le soudage. Ils peuvent être d'origine thermique (conduction, convection), métallurgique (solidification transformation de phase, fusion du matériau), mécanique des fluides (quantité de mouvement) et mécanique (déformations et contraintes). Les différentes étapes de la formation du bain de fusion sont illustrées par la figure suivante:



**Fig.1.** Principales étapes de la formation du bain de fusion [5]

L'aspect fondamental de l'interaction laser/matériau est principalement la formation du capillaire figure 6.

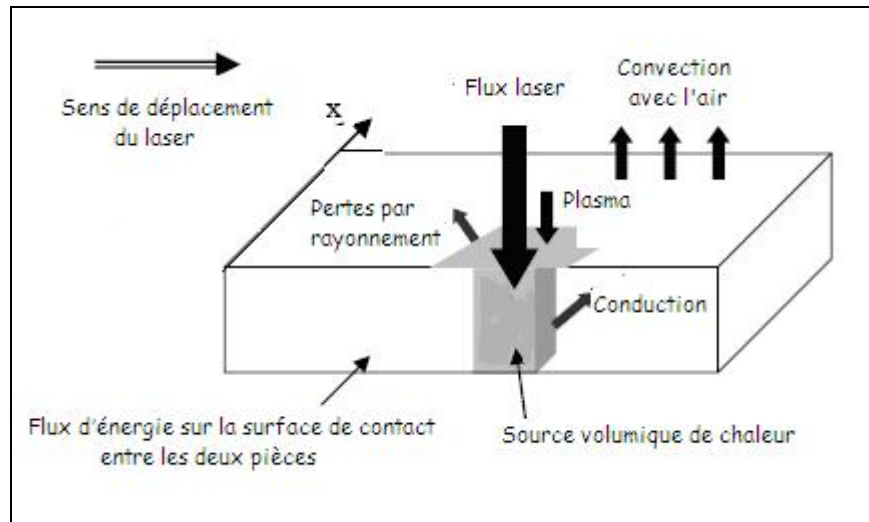


**Fig.2.** Formation du capillaire [5]

Le phénomène de capillaire apparaît sur la plupart des matériaux métalliques et entraîne les effets suivants :

- une soudure sans métal d'apport,
- un pouvoir de pénétration important,
- une vitesse d'exécution élevée,
- une zone peu affectée par la chaleur transversalement,
- une zone indépendante de l'entourage immédiat (outillages),
- et des déformations limitées.

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. Le plasma émet des rayonnements qui peuvent être étudiés afin de caractériser les propriétés du milieu [14]. Les différents phénomènes à l'origine thermique qui peut être introduit au bilan énergétique sont illustrés sur la figure suivante:



**Fig.3.** Modélisation du bilan énergétique au cours du soudage laser [13]

#### 4.2. Mise en équation

Après quelques suppositions, l'équation qui traduit le bilan énergétique sera:

$$\frac{\partial(\dots CT)}{\partial t} - \frac{\partial}{\partial x} \left( \dots \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \frac{\partial}{\partial y} \left( \dots \frac{\partial T}{\partial y} \right) = Q ; (x,y) \text{ sur} \quad (1)$$

Avec :

$$T(x, y, 0) = T_0 ; \text{ Sur} \quad (2)$$

$$T(0, y, t) = T_0 ; \text{ Sur} \quad (3)$$

$$T(L, y, t) = T_0 ; \text{ Sur} \quad (4)$$

C'est une équation différentielle instationnaire à 2D. L'application de la méthode des différences finies avec un schéma implicite a conduit à la forme suivante :

$$-sT_{i,j-1}^{k+1} + \chi T_{i,j}^{k+1} - sT_{i,j+1}^{k+1} = rT_{i,j}^k + W(i, j, k) \quad (5)$$

Cette dernière peut s'écrire sous la forme matricielle :

---

$$AT^{k+1} = rT^k + W \quad (6)$$

Actuellement nous essayons de résoudre le problème numériquement.

## 5. REFERENCES

- [1] Vannes A. B. 1991, Laser de puissance et traitement des matériaux, presse polytechniques et universitaires romandes.
- [2] Dawes C. 1992, Laser welding, Woodhead Publishing.
- [3] Cary H. B. and Helzer S. C. 2005, Modern Welding Technology, edition 6, Pearson Education/ Prentice Hall, New Jersey.
- [4] <http://www.linde-gas.fr>
- [5] Robert Y. (2007), Thèse de doctorat, Ecole des Mines de Paris.
- [6] Weman K. 2003, Welding processes handbook, CRC Press LLC, New York.
- [7] Abderrazak K., Mhiri H., Autric M., Garino A. et Bournot P. 12ème journées internationales de la thermique, Maroc, 2005.
- [8] Le Guen E., Carin M., Fabbro R., Coste F. et Le Masson P. <http://docs.google.com/>
- [9] Medale M. et Rabier S. 2001, XVème Congrès Français de Mécanique, Nancy.
- [10] Aissani M., Maza H., Belkessa B. et Benkedda Y. 17<sup>ème</sup> Congrès Français de Mécanique, Troyes, 2005.
- [11] Carin M. et Favre É.  
[www.comsol.com/papers/1034/download/Carin\\_presentation.pdf](http://www.comsol.com/papers/1034/download/Carin_presentation.pdf)
- [12] Hamide M. (2008), Thèse de doctorat, Ecole nationale supérieure des Mines de Paris.
- [13] Belhadj A. (2009), Thèse de doctorat, Cotutelle internationale entre École Nationale d'Ingénieurs de Tunis et l'École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers de Paris.
- [14] Lemkeddem S. et Khelfaoui f. Spectre de raies d'émission d'une torche à plasma en utilisant la technique de l'inversion d'Abel. Annales de la Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur Ouargla Algérie. 2009, 1(3), 58-65 .

---

## MODELISATION DU COMPORTEMENT THERMIQUE AU COURS DU SOUDAGE DES METAUX PAR FAISCEAU LASER

### RESUME

Le soudage par faisceau laser apporte une très forte densité d'énergie, cela permet de réaliser des soudures étroites, profondes et à des vitesses élevées. En raison de ses avantages par rapport aux autres procédés d'assemblage, le soudage laser est l'un des processus de fabrication les plus importants. Dans le but de modéliser le comportement thermique, il faut étudier les différents phénomènes qui peuvent être impliqués dans l'opération. La distribution de la température dans la pièce à souder peut être déterminée à partir l'équation de la chaleur qui traduit le bilan d'énergie. C'est une équation différentielle parabolique et pour sa résolution nous avons appliqué la méthode des différences finies sur une équation instationnaire en 2D en utilisant le schéma implicite.

**Mots-clés:** Laser, Soudage, Propriétés métal, Différences finies, Profil des températures.

### How to cite this article

Lemkeddem S and Khelfaoui F. Modeling of the thermal behavior of metals during welding laser using beam. J Fundam Appl Sci. 2012, 4(1), 81-87.