

住友金属工業(株)

○松廣克之

稲葉洋次

大阪大学工学部

黄地尚義

Mathematical Modeling of Molten Pool in Laser welding

by Yoshiyuki MATSUHITO, Yhoji INABA and Takayoshi OHJI

1. 概要 レーザ溶接の特徴であるアスペクト比の大きい溶融池形状は、キーホールから母材内部への高密度の直接入熱によるものと考えられている。しかしながら、キーホール形成現象及び溶融池形成現象は、未だに不明な点が多い。著者らは、これらの溶接現象を明らかにするため、コンピューターシミュレーションによりキーホール形状と溶融池形状を予測するモデルを作成し、計算結果と実験結果との比較を行い、レーザ溶接の溶融池形成に影響を与える因子に関して検討を行った。

2. 計算方法 レーザ照射部で母材金属の蒸発がおこり、その蒸発反力によって溶融池が押し下げられ、それと表面張力、静水圧がバランスしてキーホールが形成されると仮定すると、キーホール形状の支配方程式は(1)式のように表現される⁽¹⁾。

$$\sigma \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial Y^2} \right) = \rho g Z - \frac{((\beta/100) \cdot Q)^2}{\rho_v h^2} \quad (1)$$

Z : キーホール表面変位 ρ : 溶融金属の密度 ρ_v : 金属蒸気の密度

β : 入熱の蒸発に使用される割合(%) Q : 入熱密度 σ : 表面張力

h : 単位質量の溶融金属を蒸発させるのに必要なエネルギー

また、溶接が準定常状態にあると仮定すると、母材内の熱の流れは(2)式に従う。

$$\text{熱伝導方程式} : \frac{\partial^2 T}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial Z^2} + \frac{v}{k} \cdot \frac{\partial T}{\partial X} = 0 \quad (2)$$

T : 温度 v : 溶接速度 k : 熱拡散率

キーホール形状及び溶融池形状は、(1)、(2)式を連立させて計算した。

3. 計算結果 Fig.1は溶融池形状とキーホール形状の計算結果の代表例を示す。実線が溶融境界を示し、破線がキーホール形状を示す。各条件ともレーザ溶接特有のアスペクト比の大きい溶融池形状が再現されている。Fig.2は、5kW-3m/minの条件で、実際に軟鋼を溶接した際のビード断面と計算結果($\beta=15\%$ で計算)を比較したものである。溶融池の深さに関してはかなり良い近似が得られていることがわかる。Fig.3はレーザ出力及び溶接速度を変化させ、溶融池深さの実験値と計算値($\beta=15\%$ で計算)を比較した結果である。全体的な傾向として両者はかなり良く一致している。以上の結果から、 β に適当な値を与えれば、本モデルにより溶け込み深さを定性的に予想することが可能であるといえる。

Fig.4は、 β が溶融池深さに与える影響を検討したものである。溶融池深さは β の値によって大きく変化しており、母材の蒸発が溶融池形状に大きな影響を与える事

溶接学会全国大会講演概要 第51集('92-10)

を示唆している。従って、今後、レーザ溶接の熔融池形成現象の研究においては、母材の蒸発に関しても十分研究する必要があると結論される。

4. 参考文献

- (1) 黄地尚義, "溶接ビードの表面形状と熔融池の保持形態に関する界面張力論的解析", 大阪大学学位請求論文(1978)

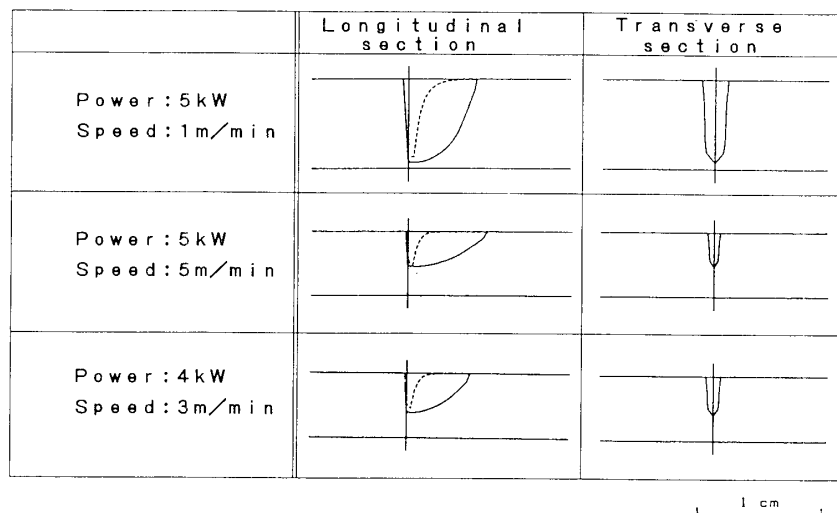


Fig.1 Examples of molten pool profiles

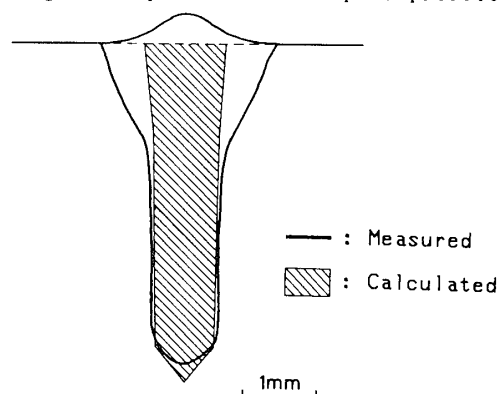


Fig.2 Comparison between measured and calculated molten pool profile
(laser power: 5kW, welding speed: 3m/min, $\beta=15\%$ for calculation)

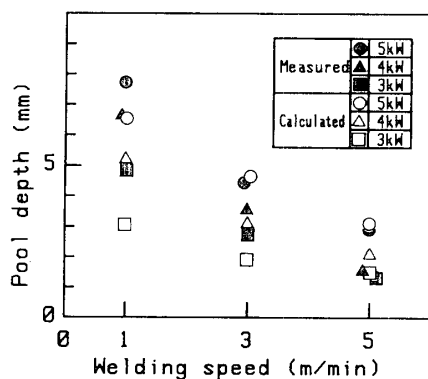


Fig.3 Comparison between measured and calculated pool depth under various conditions ($\beta=15\%$)

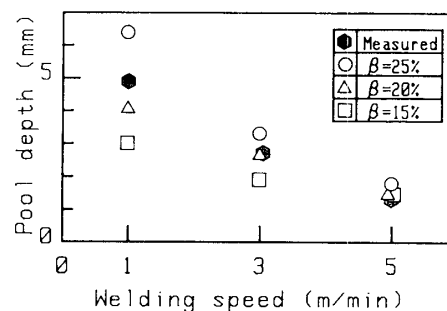


Fig.4 Effect of β on pool depth
(laser power: 3kW)