

CO₂レーザ溶接のプラズマ温度と電子密度の測定
 - レーザ誘起プラズマプルームの解析 (1) -

大阪大学工学部 丸尾 大, 宮本 勇, 〇上向 賢一
 日産自動車 森 清和

Temperature and electron density of plasma in CO₂ laser welding
 - Analysis of laser induced plasma plume (1) -

by Hiroshi MARUO, Isamu MIYAMOTO, Kenichi KAMIMUKI and Kiyokazu MORI

1. 緒言

CO₂レーザ溶接では、ワーク上に発生するプラズマによって溶接現象が影響されることが知られており、またプラズマプルームの解析は、溶接現象の理解だけでなく溶接のインプロセスモニタリングの基礎としても重要である。本報告では、CO₂レーザ溶接時にワーク上に発生するレーザ誘起プラズマの分光解析により、プラズマ温度・電子密度等を求め、さらに溶接パラメータによる影響を調べた。

2. 実験方法

溶接熱源としてはCW(連続)CO₂レーザを用い、Table 1に示す条件により板厚0.8mmSPCC薄板の重ね合わせ溶接を行った。本実験では、モノクロメータを用いて所定の波長域をスキャンニングし、5~10回の採取データを平均化する手法をとった。また、溶接は焦点位置(F:焦点-板表面距離、Fig.5参照)、ビームモード、溶接速度を主なパラメータとした。レーザ誘起プラズマプルームは8倍に拡大して、光ファイバー入り口に結像し、信号はA/D変換後にコンピュータに取り込んだ。

(Fig.1参照)

3. 実験結果と考察

3.1 F₂プラズマの分光スペクトル

分光により得られたスペクトル線の一例をFig.2に示す。ほとんどの線はF₂Iであるが、これ以外にF₂IIも観測されたが、Ar線は認められなかった。

今、局所熱平衡(LTE)を仮定すると、次式が成立する。

$$\ln(I_{nm} / g_n A_{nm} \nu) = -E_n / kT + \ln(Nh / Z) \quad (1)$$

横軸に励起準位E_n、縦軸にln(I_{nm} / g_nA_{nm}ν)をとって365nm~385nmの範囲の27本のスペクトル線についてボルツマンプロットを行い(Fig.3)、その直線の傾きから温度を求めた。これより温度は、8200K±300Kが得られた。次にSahaの式を用いると、原子スペクトルとイオンの強度比から電子密度が、次式より求められる。

$$N_e = 4.83 \times 10^{15} \frac{I}{I^+} \frac{g^+ A^+ \lambda}{g A \lambda^+} T^{3/2} \exp\{(E - E^+ - V) / kT\} \quad (2)$$

これより電子密度は、2.4×10¹⁶/cm³が得られた。この値は、LTEの条件をほぼ満足している。

3.2 溶接パラメータの影響

溶接速度と励起温度の関係をFig.4に示す。溶接速度の低下にともない温度は上昇している。溶接速度と電子密度の関係も励起温度と同様の傾向を示した。

次に、焦点位置とプラズマ温度の関係Fig.5に示す。貫通溶接領域では焦点に近づくほど温度は下がることがわかった。焦点位置と電子密度の関係も励起温度と同様

の傾向が得られた。

プラズマの温度は、実際には中心が高く外側へいくほど低下することが予想される。本研究では、アーベル変換により半径方向の温度分布の測定も行っている。

Table 1 Experimental conditions used in CO₂ laser welding.

Power	2500W (Multimode)
	1350W (Singlemode)
Welding speed	1.4m/min
Shielding gas	Ar 30l/min
Focal length	5inch (ZnSe Lens)

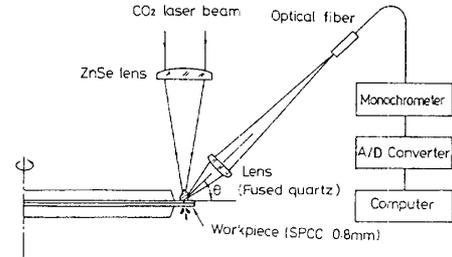


Fig.1 Schematic diagram of equipment for spectral analysis.

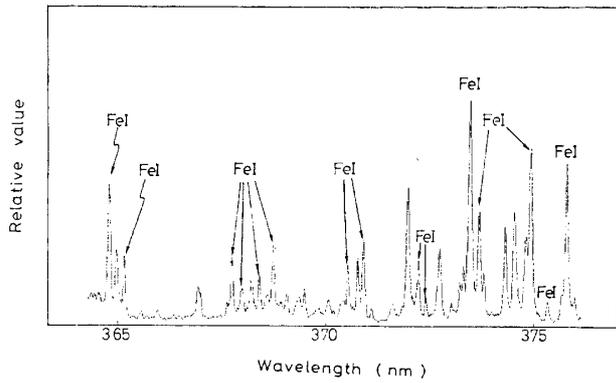


Fig.2 A typical spectrum of plasma plume in CO₂ laser welding of SPCC.

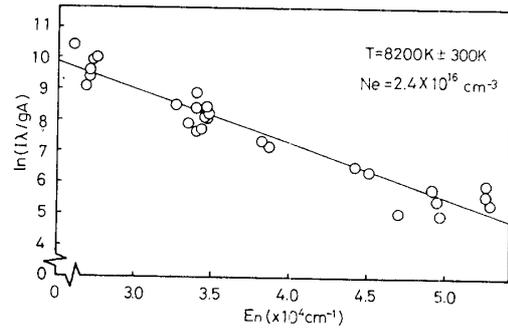


Fig.3 Example of Boltzmann plot for Fe I line.

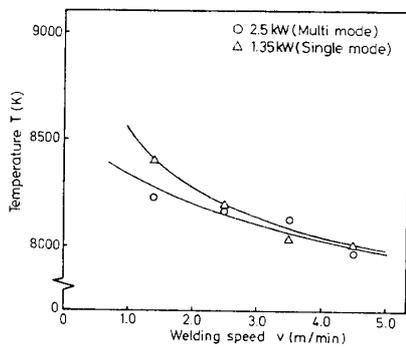


Fig.4 Relationship between welding speed and temperature (1.35KW single mode, 2.5KW multi mode).

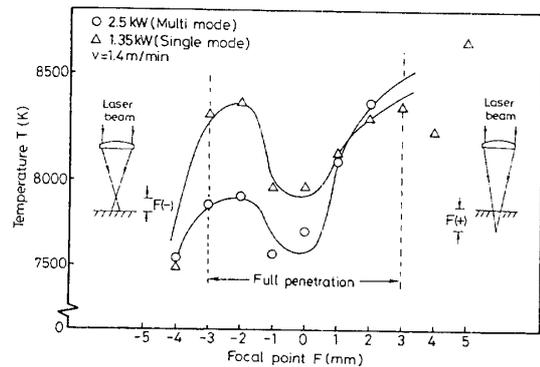


Fig.5 Relationship between focal point and temperature (v=1.4m/min, 1.35KW single mode, 2.5KW multi mode).