

大阪大学 接合科学研究所

○水谷 正海

片山 聖二

松縄 朗

Monitoring of Weight Change of Metals during High Power CW Laser Welding
by Masami MIZUTANI, Seiji KATAYAMA and Akira MATSUNAWA

1. 緒言

高出力レーザを用いた金属材料の深溶込み溶接時には、キーホールが形成されている。そのキーホールは、蒸発反跳力によって形成される。また、高出力レーザ溶接中には多量の金属蒸発やスパッタの飛散により、熔融金属が減少し、アンダーフィルの原因になる。このような蒸発現象を定量的に調査するためには、材料が受ける荷重・重量変化をモニタリングすることが重要である。

そこで、本研究では、金属材料CWレーザ溶接時における材料の受ける荷重・重量変化をモニタリングし、CWレーザ溶接時の蒸発現象を調査することを目的とした。本報では、初めの一步として、CWレーザによるビードオンスポット溶接を行った結果を報告する。

2. 実験方法

Fig. 1に示すように、電子天秤上に金属試料（本報ではSUS304）を設置し、約7 s間ビードオンスポット溶接を行い、その間の重量変化をモニタリングした。用いた電子天秤は、ユー・アンド・デイ製GX-600であり、最小表示0.001 g、最大表示610.084 g、応答速度0.1 s（実測0.2 s）の測定能を持つ。試料の設置は、天秤上に2mm¹ゴムシート、1 mm¹のアルミ板を敷き、更にアルミ製治具で10 mm離し、熱、磁気、高速な振動（10 Hz以上）が測定値に及ぼす影響を排除するように行った。用いたレーザは、Lumonics社製CW型Nd:YAGレーザ装置である。そして、Table 1に示すようなレーザパワー、レーザ焦点はずし距離、ガス種、ガス流量等をパラメータとして実験を行った。

3. 荷重・重量変化データ

実験結果の一例として、Heをシールドガスに用いて、レーザパワー3 kWで得られた荷重・重量変化データをFig. 2に示す。まず、ガス電磁バルブをオンにすることにより、急激に、シールドガスの動圧による大きな荷重が試料表面に掛かり、緩和された後は、0.2 g程度で推移している。レーザ照射に伴い、0.6 g程度まで荷重が増加しており、この荷重増加は、蒸発反跳力によるものであろう。レーザ照射が終わると、速やかに0.1 g程度まで荷重が下がっており、レーザ照射中に蒸発やスパッタにより質量が損失したことがわかる。これは、ガスをオフにしたときに荷重が-0.1 g程度まで低下していることから確認できる。以上のことから、電子天秤を用いてレーザ溶接中の荷重・重量変化がモニタリングできることがわかり、その要素としてシールドガス動圧、蒸発反跳力および蒸発やスパッタによる質量損失を考えることができた。

4. 金属材料レーザ溶接時の蒸発現象

金属材料レーザ溶接時の蒸発現象を詳細に調査するために、上述のモニタリングデータをシールドガス動圧による荷重、蒸発やスパッタによる質量、更に、蒸発反跳力による荷重データに分離することを試みた。その結果、Fig. 3 (a), (b), (c)に示すように分離が可能であることがわかった。まず、測定精度を検証するために、Fig. 3 (a)中の式でガス圧による荷重からガス流量 $\dot{V}_G$ を逆算し、供給ガス流量 R_G と比較した。その結果、 $5.84 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ という値が得られ、ほぼ供給ガス流量と一致した。次に、Fig. 3 (b)中の式を用いて、レーザ照射中の蒸発やスパッタによる質量損失が時間に比例するとして、その速度 $\dot{w}_m$ を算出したところ、0.0175 g/sであった。質量損失が、すべて蒸発によると仮定して、蒸発潜熱 L_B から逆算した値EPSは110 W程度であり、レーザ出力の約3.7%程度であった。次に、キーホール現象として興味深い蒸発反跳圧力 P_r をFig. 3 (c)中の式を用いて算出した結果、約6000 Paであった。この値は、表面張力 σ (Fe:1.5 N/m)による圧力 $P_s = \sigma/r = 3000 \text{ Pa}$ と同じオーダーであった。さらに、蒸発流速 v_r は250 m/sと算出できた。

5. 溶接条件が蒸発現象に及ぼす影響

ガスの種類や流量、レーザ焦点はずし距離、レーザパワー等をパラメータに溶接実験を行い、モニタリングを行った。その結果、蒸発反跳力や蒸発速度は、いずれによっても影響を受けることが判明した。特に、レーザパワーの影響は、パワーが大きいほど、蒸発反跳力や蒸発速度が大きくなることが判明した。

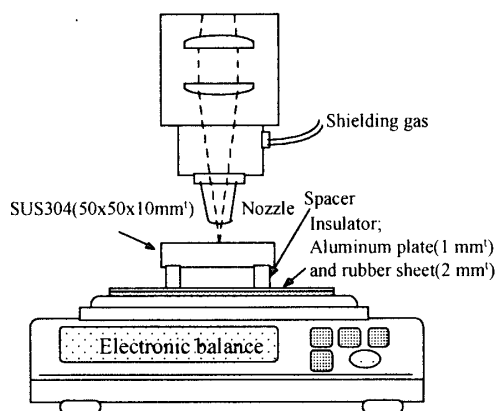
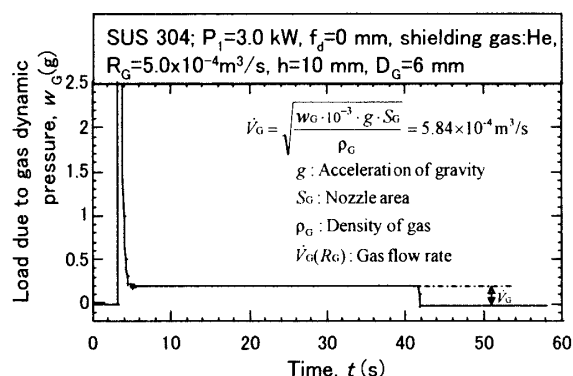


Fig. 1 Schematic arrangement of electronic balance and laser welding nozzle.

Table 1 Laser welding conditions used.

Experimental parameters	Conditions	
Laser power, P_i [kW]	0.5, 1.1, 2.2, 3.0	
Focal distance, f [mm]	200	
Defocused distance, f_d [mm]	-2, 0, +2, +5, +10	
Gas flow rate, R_G [$\times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$]	Ar	3.3, 5.0, 8.3
	He	5.0
	N ₂	5.0
	Atmosphere	0
Stand-off, h [mm]	10	
Nozzle diameter, D_G [mm]	6	



(a) load data due to shielding gas dynamic pressure, showing calculation concerning to gas flow rate.

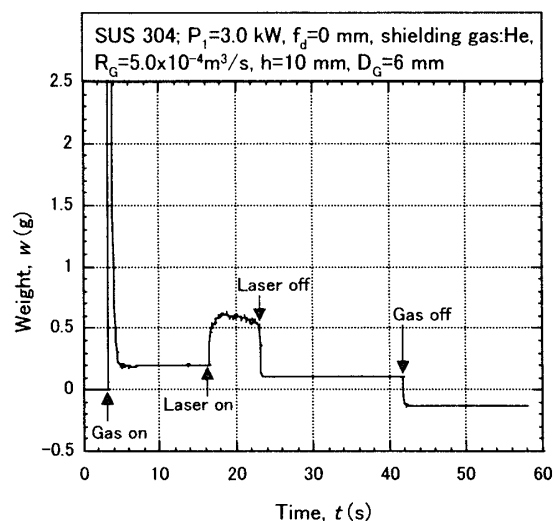
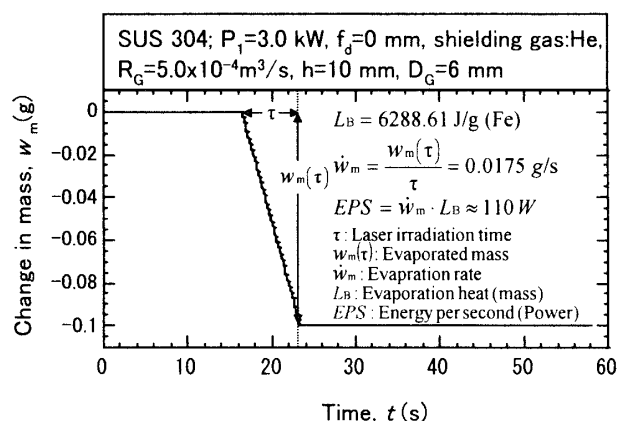
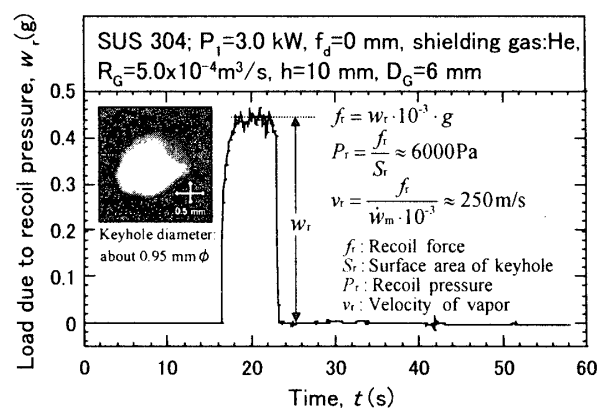


Fig. 2 Monitoring result of weight change measured by electronic balance during bead-on-spot laser welding.



(b) mass change data due to evaporation and/or spattering loss and related calculation.



(c) load data due to recoil pressure and related calculation.

Fig. 3 Weight and load data separated from monitoring result in Fig. 2, showing equations and its results concerning to vaporization phenomenon.