

알루미늄 합금의 레이저 유기 플룸에 관한 분광학적 연구

Spectroscopic studies on Laser-Induced Plume of Aluminum Alloy

○金 鍾 道(大阪大學大學院), 片山 聖二, 松繩 朗(大阪大學 溶接工學研究所)

1. 서 언

레이저 가공은 미소 공간에서 준마이크로 초의 극단 시간에서의 제어가 요구되는 가공기술이다. 그러나 레이저 조사시에 발생하는 유기플룸이 가공에 미치는 영향에 대해서는, 아직 불명한 점이 많다. 또한 각종 합금의 레이저 용접에 있어서 합금 원소의 증발은 중요한 문제로 되어 있다. 본 연구에서는 레이저 용접이 곤란한 알루미늄 합금에 대해서, 레이저 유기플룸의 특성과 재료와의 상호작용을 명확히 하고, 증발 현상과 깊은 용접에 미치는 영향을 규명하는 것을 목적으로 하고 있다. 본 보고에서는, 레이저 유기플룸에 대해 발광분광분석을 행하여 각종 합금 원소의 발광스펙트르를 동정하고 그 특성을 명확히 했다. 또한 발광 스펙트르의 상대강도 측정법에 의해 플룸의 물리량을 추정했다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용 재료 두께 6mm의 알루미늄합금 A5083, A5052, A6061, A7N01 및 A5182를 이용해서 레이저 유기플룸의 발광분광 분석을 행했다. 본 보고에서는 A5083 (4.60%Mg, 0.14%Si, 0.70%Mn, 0.12%Cr, 0.04%Cu, 0.01%Zn, 0.22%Fe)의 결과에 대해서만 보고한다.

2.2 실험장치 및 실험방법 본 연구에서 사용한 가공용 레이저 장치는 파형제어형 펄스 YAG-레이저장치(최대출력 90J/P, 펄스폭 21ms)이다. 또한 레이저 유기플룸의 거동에 대한 관찰에는 초고속도 카메라 Cordin Model 317(최대 촬영속도: 16,000F/S)을 이용했다. Fig.1에 발광분광분석을 행한 광학계의 개략도를 나타낸다. 사용한 재료의 표면은 사포 400번 또는 스테인리스강 와이어 브러쉬로 산화막을 제거하고 아세톤으로 탈지한 후, 대기중 또는 Ar 분위기중에서 레이저 조사를 행했다. 레이저 조사 조건은 주로 펄스 에너지(E_0) 80J/P, 펄스 시간(τ_p) 21ms의 矩形波로 파워밀도는 1.0MW/cm²이다.

3. 실험결과 및 고찰

알루미늄합금에 있어서 펄스YAG 레이저 유기플룸의 거동을 Fig.2에 나타낸다. 플룸은 단시간의 레이저 조사중에 격심하게 변동하고 있음을 알 수 있다.

3.1 발광스펙트르의 동정 격심하게 변동하고 있는 플룸에 대해 발광분광분석을 행했다. 그 결과, 대기중 A5083의 레이저 유기플룸에 있어서 중성원자로서 Al, Mg, Cr, Mn, Cu, Fe등이 동정되었다. Fig.3에 동정된 중성원자에 대한 분광사진의 한 예를 나타내고, Fig.4에 자기 흡수현상이 발생하고 있는, AlI(396.153nm)의 파장에 따른 강도 변화를 나타낸다. 이 같은 자기 흡수현상은 AlI, MgI의 공명선(영존선)에서 흔히 발생하고 있으며 이러한 결과로부터, 플룸은 Al과 Mg의 중성원자가 다량으로 증발되어 있음을 알 수 있다. 1가 이온스펙트르로서 280.270nm 및 279.553nm의 Mg가 동정되어, 레이저 유기플룸은 약전리 플라즈마임을 알았다. 화학반응 종인 분자 스펙트르로서는 AlO, MgO 및 AlH가 동정되었다. Fig.5는 다른 레이저 조사 에너지에 있어서 AlO, MgO 분자 스펙트르의 강도를 나타내고 있다. 낮은 에너지의 경우, MgO의 발광강도가 AlO보다 강한 것을 알 수 있다. Fig.6은 AlH 분자 스펙트르의 발광강도에 미치는 분위기 가스의 영향을 나타낸다. Fig.7은 시료 표면으로부터 플룸의 성장방향의 AlO 분

자 스펙트르의 강도변화를 나타낸다.

3.2 플룸의 온도 및 전자밀도의 추정 본 연구에서는 레이저 유기플룸이 국소열평형 (Local Thermodynamic Equilibrium: LTE)상태에 있음을 가정해서 발광스펙트르의 상대 강도 측정법에 의해 시료표면으로부터 높이 1mm위치에서의 플룸의 온도와 전자밀도를 구했다.

플룸의 온도 : 국소열평형을 가정하면, 다음의 식이 성립한다.

$$\ln(\ln m \lambda \text{ nm} / g_n A_n m) = -E_n / kT + \ln(N_0 h c / Z)$$

자기흡수현상이 발생하지 않는 CrI스펙트르에 대해 종축에 $\ln(\ln m \lambda \text{ nm} / g_n A_n m)$, 횡축에 E_n 을 취해 볼츠만 플롯트를 행하여, 최소 2승법에 의해 그 직선의 기울기로부터 온도를 구했다. Fig.8에 볼츠만플롯트의 결과를 나타낸다. 이 결과 플룸의 온도는 $3280K \pm 150K$ 이었다.

전자밀도 : Saha의 식을 이용하면, 플룸의 온도 및 동일원소의 원자와 이온스펙트르의 상대강도를 측정함으로써 전자밀도를 구한다.

$$N_e = \frac{I_a}{I_i} \frac{g_i A_i \nu_i}{g_a A_a \nu_a} \frac{2(2\pi m k T)}{h^3} \exp\left(\frac{E_a - E_i - V}{kT}\right)$$

이 결과, 레이저 유기플룸의 전자밀도는 $1.85 \times 10^{19} / m^3$ 이었으며 이와 같은 수치는 H.C.Peeble¹⁾등이 Ar분위기중에서 구한 순알루미늄의 레이저 유기플룸 온도 $3400K \pm 300K$ 와 좋은 일치를 보이고 있다.

4.참고문헌

- 1) H.C.Peebles and R.L.Williamson : Proc. LAMP'87(1987) pp.19-24

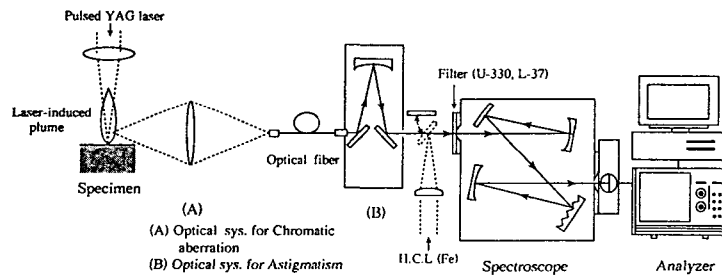


Fig. 1 Schematic of optical arrangement for spectroscopic measurement

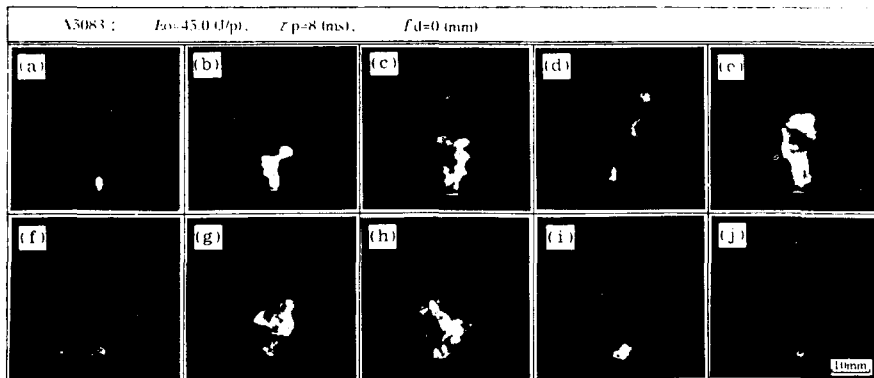


Fig. 2 High speed photographs of laser induced plume of A5083 alloy in air. ((a) 0.18 ms (b) 0.41 ms (c) 1.51 ms (d) 2.18 ms (e) 3.51 ms (f) 4.8 ms (g) 5.51 ms (h) 6.17 ms (i) 6.84 ms (j) 7.73 ms)

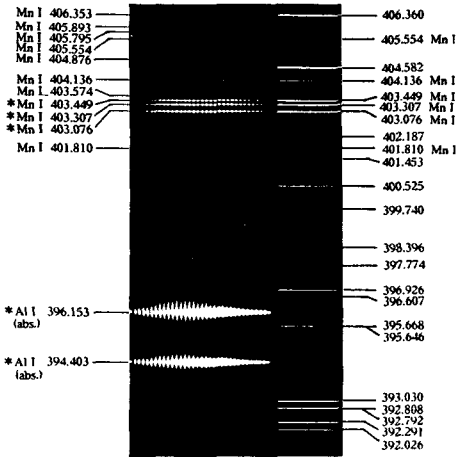


Fig. 3 Atomic spectra of plume induced from A5083 by pulsed YAG laser irradiation ($E_0 = 80 \text{ J/p}$, $\tau_p = 21 \text{ ms}$) in air and reference lines of H.C.L. (Fe)

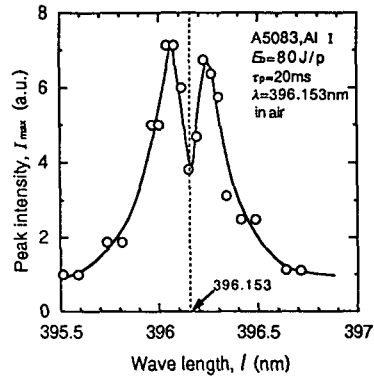


Fig. 4 Intensity profile of self absorption lines in laser-induced plume from A5083 in air

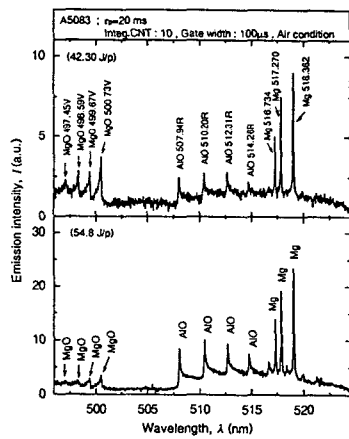


Fig.5 relative intensities of emission lines at 3mm height from specimen surface as a function of laser energy

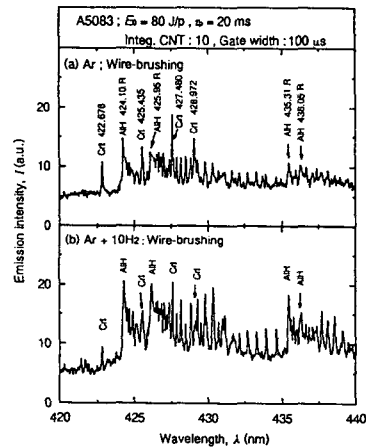


Fig.6 Effect of ambient gas on intensity of AlH molecular spectra in laser irradiated A5083

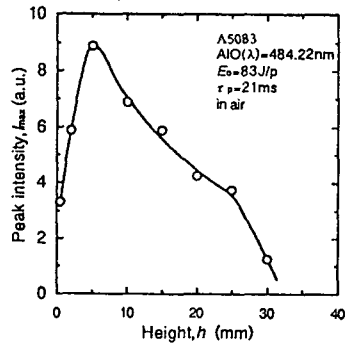


Fig.7 Evolution of spectral peak intensity as a function of height from specimen surface

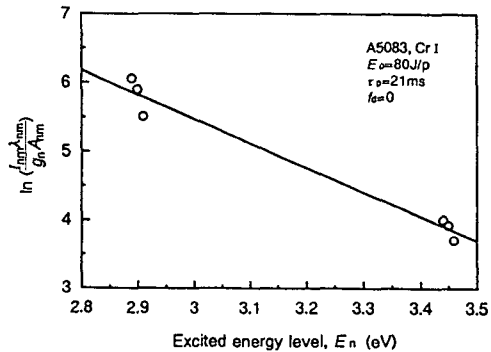


Fig.8 Boltzmann plot of six Cr I spectral lines in A5083