

레이저 용접에 있어서 증발입자의 거동

Behavior of Evaporated Particles in Laser Welding

김 중도*, 김 중호*, 조 상명**, 김 영식*, 松繩 朗***,

* 한국해양대학교, ** 부경대학교, *** 大阪大學 接合科學研究所

1. 서 언

레이저 가공법은 고속·고정도의 가공기술을 필요로 하며, 특히 펄스레이저에 의한 가공현상은 물리적·화학적 구배를 가진 영역에 있어서 극단시간에 발생하므로, 합금원소의 증발현상을 비롯하여 키흔용접 현상에 대해서 불명한 점이 많다. 저자들은 이미 각종 재료의 레이저 용접시 유기하는 플라즈마의 거동 및 발광 스펙트럼의 분광학적 특성을 규명해 왔다.

본 보고에서는, 펄스레이저 용접시의 합금원소의 증발거동을 규명함과 더불어 나아가서는 리얼타임 모니터링 기술의 기초적 자료를 얻는데 그 목적을 두고, 분광학적 수법 및 금속 재료학적 분석법에 의해 합금원소의 증발거동에 관한 지견을 얻고 있다.

2. 사용재료 및 실험방법

사용재료 및 레이저 유기 플라즈마의 발광분광 분석에 이용한 분광기 및 집광 광학계는 전보¹⁾와 동일하다. Table 1에 본 연구에 주로 이용한 알루미늄합금 A5083의 주된 합금원소인 Al과 Mg의 물리적 성질을 나타낸다.

합금원소의 증발거동에 관한 재료학적 분석을 위해 레이저 용접시의 증발입자를 대기중 또는 Ar 가스 분위기 중에서 시료 표면으로부터 7~15 mm의 위치에서 Ni판(99.9 mass%Ni) 또는 glass판상에 증착시켜 포집했다. 포집입자는 EPMA 및 XRD를 이용하여 조성 분석과 구조의 동정을 행하고, TEM(투과형전자현미경, 가속전압 200 kV)을 이용하여 최대 30만배로 미소영역의 초미립자의 확대상을 관찰했다. 또한 전자선의 회절상 및 EDS분석결과와 비교 분석하여, 초미립자의 입경분포, 구조 및 조성에 대하여 검토했다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 합금원소의 증발거동에 관한 발광분광분석

Al-Mg합금의 펄스레이저 용접시에 발생하는 합금원소의 증발거동과 발광강도에 미치는 레이저 파워밀도의 영향을 Fig. 1과 Fig. 2에 나타낸다. 다채널 분광측광시스템을 이용한 측정파장역은, 주된 합금원소인 Al과 Mg의 증발거동의 동시예측이 가능한 496~524 nm이다. 레이저 펄스폭(τ_p)은 20 ms이며, 레이저 조사후 2 ms 후의 현상을 100 μ s간 검출 후 10회의 데이터를 적산했다. 이러한 결과로부터, 저파워밀도의 레이저 조사시에는 AlO는 검출되지 않고 MgO만이 동정되고 있다. 그러나 파워밀도를 높여감에 따라 AlO의 발광이 시작되고, MgO와 AlO의 강도는 역전되며, AlO의 발광이 지배적으로 변화함을 알 수 있다.

이러한 현상은 Fig. 3에 나타내는 바와 같이, 일정한 파워밀도 하에서 20 ms의 레이저 조사시간의 전반에 걸친 발광스펙트럼의 강도변화에도 동일한 결과가 얻어졌다.

이러한 현상이 발생하는 원인은, Table 1에 나타내는 바와 같이, Mg의 비점 및 증발잠열이 Al의 반(半)정도로 낮은 점, 또한 용융지의 온도차에 기인한다고 사려된다.

3-2. 포집한 증발·용착입자의 관찰과 분석

증발·용착입자의 TEM상과 전자선 회절상의 해석결과 및 입경 분포를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타낸다. 증발·용착한 초미립자는 100 nm 이하의 구형이며, 열원으로서 이용한 YAG레이저 빔의 파장보다 상당히 작은 것을 알 수 있다. 즉, 레이저 용접시 조사되는 레이저 빔과 유기 플라즈마 주변에서 생성되는 초미립자와의 상호작용에 의해 강한 레이리 산란이 발생할 수 있음을 시사한다. 또한 이 레이리 산란광 강도는 입사광의 파장의 4승에 반비례하므로 CO₂레이저(10.06 μ m)의 약 1/10의 파장을 가진 YAG레이저(1.06 μ m)에 있어서 그 영향이 크다고 볼 수 있다.

Fig. 6과 Fig. 7에 대기중에서 포집한 증발입자에 TEM상, 하나의 입자에 대한 전자선 회절상과

EDS분석 결과를 나타낸다. 증발·응축입자를 구성하는 개개의 초미립입자는 $MgAl_2O_4$ 이며, 이것은 XRD분석 결과와 일치했다. 또한, 개별 입자의 EDS분석 결과에 의하면, 레이저 파워밀도의 변화에 따라 Mg와 Al의 증발량의 차이가 보여진다. 이것은 분광분석 결과와 좋은 일치를 보여주고 있다.

4. 참고문헌

- 1) 김 종도, 片山 聖二, 松繩 朗 : 특별강연 및 춘계학술발표개요집(1995) pp. 23~25.

Table 1 Physical constants of pure Aluminum and Magnesium.

	Atomic number	Atomic weight	Melting point [K]	Boiling point [K]	Ionization potential [eV]	Heat of fusion [10^3 J/mole]	Heat of vaporization [10^3 J/mole]	Thermal conductivity (at 293 K) [W/m · K]
Pure Al	13	26.9815	933.25	2750 ± 50	5.984	8.40 ± 0.16	293.8	238
Pure Mg	12	24.305	932 ± 0.5	1376 ± 5	7.644	8.96 ± 0.2	128.7	167

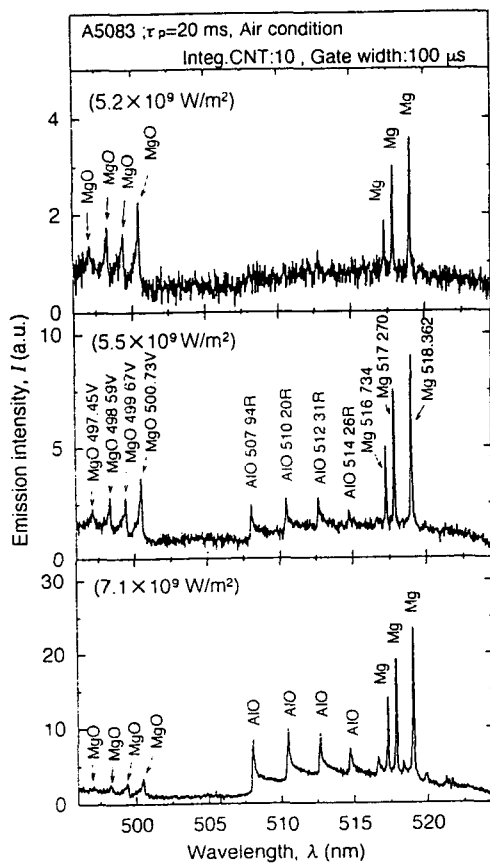


Fig. 1 Evolution of relative intensities of emission lines as a function of laser power density.

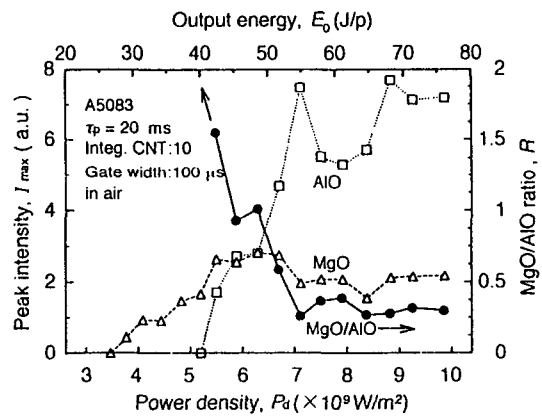


Fig. 2 Variation in relative intensities of MgO and AlO molecular spectra as a function of laser power density.

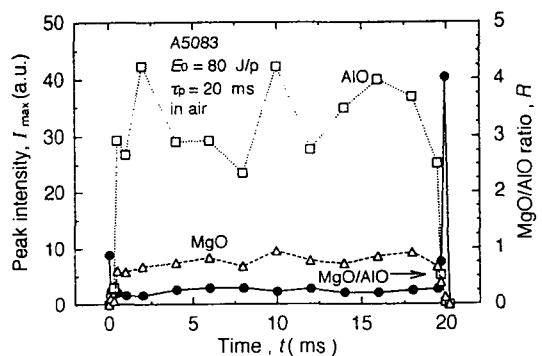


Fig. 3 Variation in relative intensities of MgO and AlO molecular spectra as a function of laser irradiation time.

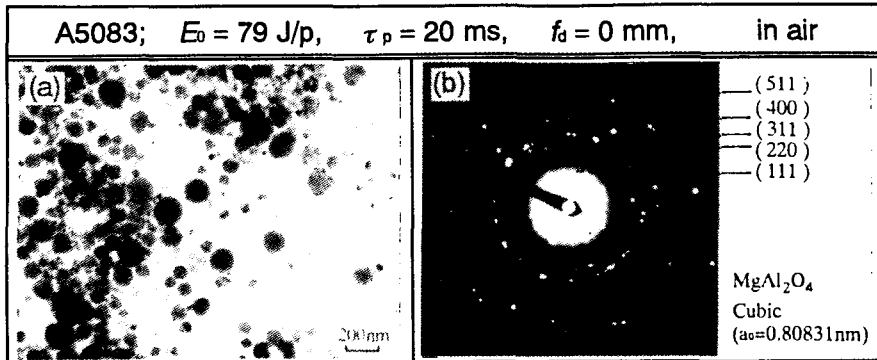


Fig. 4 TEM photos(a) and electron diffraction pattern(b) of ultra-fine particles produced from A5083 by laser in air.

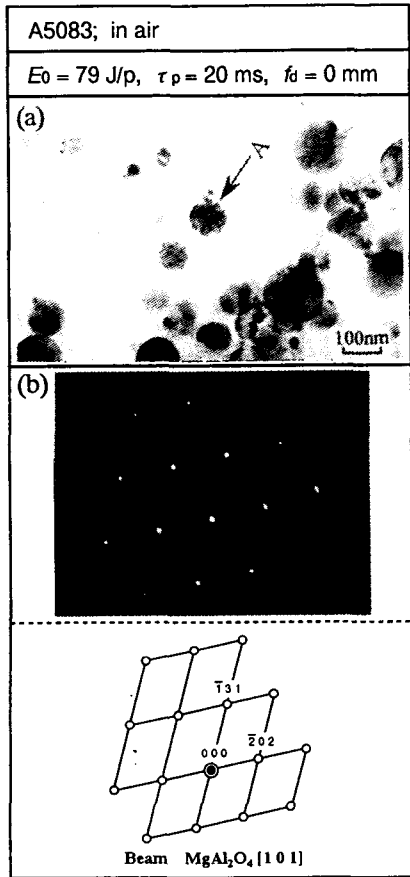


Fig. 6 Analytic results of ultra-fine particles produced from A5083 by laser in air, and (b) was taken from remark A in photos(a).
 (a) TEM photo, (b) Electron diffraction pattern and its key diagram

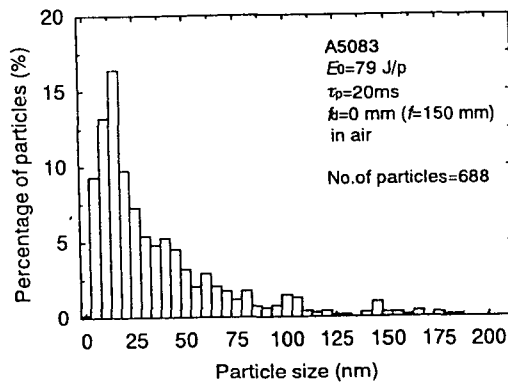


Fig. 5 Distribution of ultra-fine particles size produced from A5083 by laser in air.

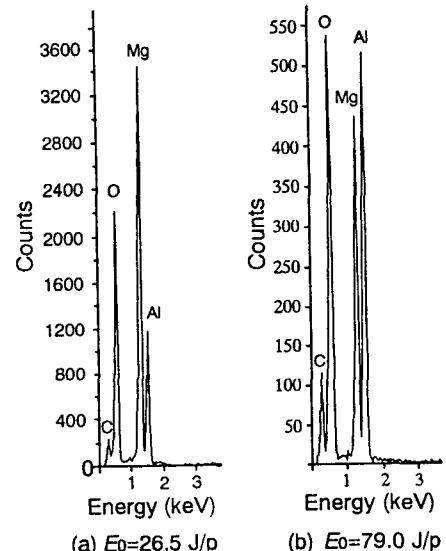


Fig. 7 EDS spectra of ultra-fine particle from A5083 by laser in air. ($\tau_p = 20 \text{ ms}$, $f_d = 0 \text{ mm}$)