

The effects of nozzle shape and gas pressure on the weldability of A3003 Al thin sheet by Nd:YAG laser beam

연세대학교 금속시스템공학과 김경진, 김도훈
삼성SDI 박정만

I. 서론

A3003 알루미늄 합금은 경량화와 내부식성, 재료 성형상의 장점으로 인하여 휴대용 전자기기의 에너지원으로 주로 사용되는 리튬 이온 전지의 Can 및 기타 외장 재료로 사용되고 있다. 이들 제품들은 액상의 유기 전해액을 함유하고 있으므로 용접부에 크랙이나 핀홀 존재 시 해당 부위로 전해액이 누출될 가능성이 있다. 누출된 전해액은 전지의 성능 저하 뿐만 아니라 기기 자체의 손상을 가져올 수 있다. 따라서 레이저빔에 의한 용접 시 양호한 밀폐화를 이루는 것은 본 재료의 용접에 있어서 매우 중요하다. 또한 크기와 성능에서 소형화, 집적화 되어 가고 있으므로 레이저빔에 의한 용접 시 주변 부품에 열에 의한 손상이 없도록 레이저빔의 에너지 및 기타 용접조건들을 조절하여야 한다. 이와 같은 조건들 외에 용접 후 미려한 외관을 얻는 것도 제품의 경쟁력을 키우는 중요 인자가 되고 있다.

이와 같은 문제들을 해결하기 위하여 레이저빔 펄스의 패턴을 조절하여 급냉에 의한 크랙을 예방하거나 토네이도(Tornado) 노즐을 보조가스 중앙부에 음압(negative pressure)를 발생시킴으로써 기공발생을 억제하는 연구등이 진행되어 왔다.¹⁻²⁾

본 연구에서는 Al3003 용접시 신뢰성 있는 밀폐화를 얻고 기공, 크랙 등의 결함 및 용접 후 외관에 대하여 섀딩(shielding) 가스 압력 및 소모량이 미치는 영향 및 선단부의 형상이 용접성에 미치는 영향을 연구하였다. 또한 용접에 따른 온도상승에 대하여 상대적 비교를 함으로써 용접 시 주변 기구물의 변형 가능성에 대해서도 연구하였다.

II. 실험방법

본 실험에 사용된 재료는 A3003 합금으로서 소재의 두께는 측면부가 0.4mm 이며 상부의 복부판재(web)가 1.0mm 이다. 복부판재는 측면 재료에 의해 고정되어 지그 내에 장착되며 이 지그가 자동 이송시스템에 의해 용접 위치로 이동, 고정되도록 하였다. 광학계는 SI(step index) 0.6 광화이버와 작업거리(working distance) 80mm인 렌즈로 구성하였다. 4축 로봇에 고정된 렌즈는 반사에 피 용접물에서 빔의 반사에 의한 광화이버의 손상을 우려하여 15°경사를 주었다. 보조가스는 99.999%의 질소가스를 coaxial로 공급하였다. 용접은 자생용접(autogeneous welding)의 일종인 코너용접(corner welding)을 seam용접의 방법으로 실행하였다. 레이저는 Rod 형 Nd:YAG 레이저를 사용하였으며 출력은 230W가 되도록 하였다. 용접 시 레이저빔의 발전 조건 및 초점거리, 주사속도는 일정하게 유지하였다.³⁾

노즐의 형상은 선단부를 수렴형(convergent type)과 발산형(divergent type)으로 제작하여 출구나 목을 통과한 후 가스 압의 변화에 대한 영향을 고찰하였다.⁴⁾ 또한 노즐 선단부와 피 용접물간의 거리를 2mm 와 7mm 로 변화시켜 이에 대한 영향을 고찰하였다. 제작된 노즐의 거리 및 형상에 의한 조건 및 표기법을 Table 1. 에 나타내었다. 가스의 압력 및 소모량도 각 3수준으로 나뉘 그에 따른 온도, 용접심도, 외관 등을 고찰하였다. 가스 조건에 따른 실험 조건의 구성과 그에 따른 표기법은 Table 2. 에 나타내었다.

Table 1. Nozzle Conditions

선단부 형태	노즐 선단부에서 피 용접물까지의 거리 (mm)	표기법
수렴형	2	C2
수렴형	7	C7
발산형	7	D7

Table 2. Experimental design of gas pressure and flow rate

	Gas Pressure (kgf/cm ²)			
		1.4	1.9	2.4
Flow Rate(ℓ/min)	15	P1 - A1	P2 - A1	P3 - A1
	25	P1 - A2	P2 - A2	P3 - A2
	35	P1 - A3	P2 - A3	P3 - A3

레이저 용접시 용접 부 주변의 부품들은 열에 의한 손상의 가능성이 있다. 이에 대한 가능성을 상대 비교하기 위하여 적외선 영상 시스템을 이용하여 상대온도를 측정하였다.⁵⁾ 적외선 영상 시스템의 디텍터는 볼로미터(bolometer)를 사용하였는데 용접 시 발생하는 열에너지가 온도변화로 전환되기 위하여는 시간이 필요한데 이 시간은 마이크로 단위의 레이저빔을 검출하기에는 긴 시간이다. 또한 전체 320×240의 픽셀 중 최소 3개의 픽셀에 해당하는 영역이 필요하다. 그리고 측정재료의 상에 따라 방사율이 변하므로 용융부와 고상의 피 용접물의 방사율도 다르다. 이와 같은 제약으로 인하여 측정된 온도를 절대온도로 간주하기는 어렵다.

III. 결과 및 고찰

C7 노즐(수렴형, 거리 7mm)을 사용하여 각 가스 조건에 따른 최대온도와 평균온도를 알아보았으며 그 결과를 최대온도에 대하여 Fig 1. 그 결과를 나타내었다. 측정 부위는 Fig 2.에 도시된 상에서 박스 내의 영역이다. 최대온도와 평균온도에 대하여 히스토그램 및 온도 스펙트럼을 이용한 분석결과 유사한 패턴을 보였다. 온도측정결과를 이용하여 분산분석으로 p value를 측정하고 회귀모델을 작성하였다. p value 측정결과 온도의 변화에는 가스량이 유의수준 10%에서 유의차 있음을 보였으며 이 때의 회귀모델로

$$Mean Temp. = 118 - 0.996 \times (Gas Flow Rate)$$

를 얻었다. 상대비교 결과 모든 가스 조건에서 온도상한 130℃ 미만이었다.

용접심도에 대하여 노즐 조건 별, 가스의 압력 조건 및 가스 량 조건에 대하여 일원분산분석을 실시하였다. 용접심도는 C2 노즐인 경우에만 가스 조건에 의존하는 결과를 얻었고 용접심도는 C7 노즐 및 D7 노즐인 경우에 비하여 작았다. 노즐 선단부에서 피 용접물까지의 거리가 7mm인 C7 및 D7 노즐은 가스 조건의 변화가 용도심도에 아무 영향을 미치지 못하는 것을 알 수 있었다. 용접 후 시편의 단면형상은 Fig 3과 같다.

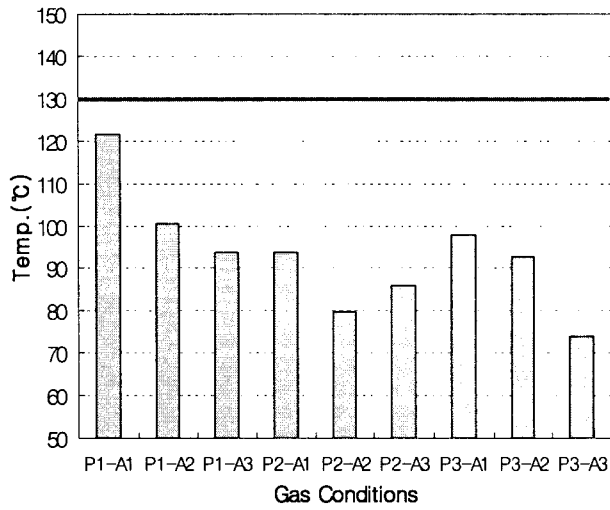


Fig. 1. Relative max. temperature comparison with gas conditions

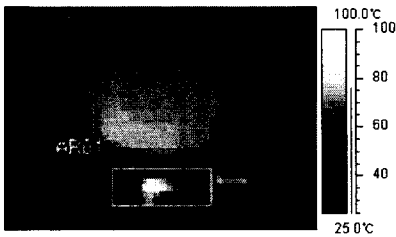


Fig. 2. Temperature distribution and detecting area

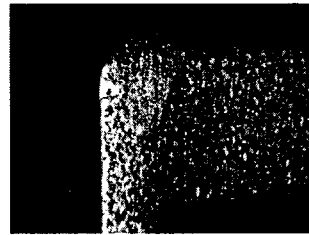
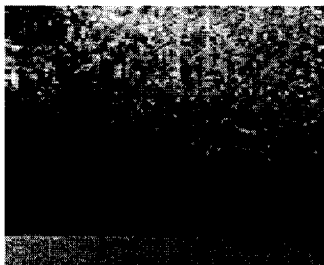
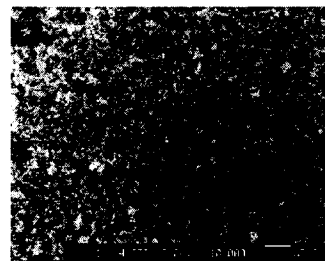


Fig 3. Cross section of specimen after welding

용접 후 외관에 있어 피 용접물과의 거리가 2mm인 C2 노즐을 사용한 경우 모든 가스 조건에 대하여 심한 오염이 발생하는 것이 관찰되었다. 분출속도 조건에 따라 HAZ영역의 복부판재에 크랙이 발생하였으며 스패터에 의한 오염도 발생하였다. 용접비드에서의 크랙은 발생하지 않았다. 오염물을 SEM 및 EDX로 분석결과 Al의 산화물에 의한 오염임을 알 수 있었다. 오염물의 외형 및 그 영역의 SEM 촬영 결과를 Fig 4. 에 각각 도시하였다.



(a) after welding



(b) SEM image of contaminated area(×10K)

Fig 4. Surface contamination of C2 nozzle

IV. 결론

A3003 박판을 노즐 형상 및 shielding가스인 질소의 압력과 소모량을 변화시키며 Nd:YAG 레이저 빔에 의한 용접 실시 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. shielding 가스에 의한 용접시 용접부의 온도 감소 효과는 압력과 무관하고 가스량에 대하여 약한 상관성을 보인다.
2. 용접부 외관은 노즐 선단부와 피 용접물간의 거리가 7mm 인 경우 노즐 선단부 형태에 무관하나, 2mm 인 경우 알루미늄 산화물에 의한 오염이 발생된다.
3. 용접심도는 거리가 2mm 인 경우 가스의 조건에 의존하였으며 7mm 인 경우에는 노즐의 형태와 무관하였다. 심도는 동일한 수렴형 노즐로 작업 시 피 용접물까지의 거리가 2 mm 인 경우가 7mm인 경우에 비해 용접심도가 작다.
4. 가스분출속도가 빠른 경우 용융부가 급냉되어 용접Bead 주변에 Crack이 발생한다. 또한 용융상태의 Al을 분출시켜 spatter를 형성한다.

V. 참고문헌

1. Katayama Seiji, Yoshida Daisuke, Yokoya Shinichiro and Matsunwa Akira, "Development of Tornado Nozzle for Reduction in Porosity during Laser Welding of Aluminum Alloy", ICALEO, 2001.
2. Mitsuaki Yoshikawa, Takashi Kurosawa, Yasuo Tanno. "Development of new type nozzle for high power Nd:YAG laser welding", SPIE v.3888, pp.522-532, 2000.
3. 김도훈 : 레이저 가공학, 경문사, pp.256-279, 1997.
4. Alan J. Chapman, William F. Walker, "Introductory Gas Dynamics", HOLT, RINEHART AND WINSTON, INC., pp.150-169, 1971.
5. K. C. Liddiard, "Infrared Technology", SPIE v.1969, pp.206, 1993.