

용가 와이어를 이용한 알루미늄 레이저 용접부의 용접 특성에 관한 연구

Study on the welding characteristic of aluminum laser weld using filler wire

한양대학교 정밀기계공학과 박영환
한양대학교 기계공학부 이세헌
기아자동차 차체생기팀 박현성

I. 서론

전 세계적으로 환경 보호에 대한 관심이 높아지고 있으며 세계 환경기구와 같은 단체에서는 차량용 배기가스의 규제가 심해지고 있다. 전 세계의 자동차 업체는 자동차의 연비 향상을 위한 차체의 경량화가 큰 이슈로 대두되고 있다. 차량 경량화를 위하여 고장력강이나 알루미늄과 같은 경량화 소재를 이용하여 차체를 생산 중에 있다. 그러나 알루미늄의 특성상 강재 보다 용접이 어렵고, 단가가 높기 때문에 아직까지는 제한적으로 사용하고 있다. 그러나 차량 경량화에 있어서 반드시 필요한 재료이므로 자동차 업체들은 알루미늄 용접 기술개발에 많은 연구를 하고 있다.

알루미늄을 용접하는 경우 고 밀도 열원이 필요하기 때문에 레이저를 이용한 용접은 매우 유효한 방법으로 판단되고 있다. 레이저 용접은 생산성 향상은 물론 고정밀, 고품질의 용접, 그리고 깊은 용입 깊이라는 장점 때문에 자동차 산업을 비롯한 많은 수송기기 산업에서의 적용이 점점 확대되고 있다.¹⁾

레이저만을 이용하여 알루미늄 5000계열의 합금을 용접하는 경우, 용접후 강도 저하 현상이 발생하는 데 T Debroy 등²⁾은 용접중에 발생하는 기공 (porosity), 용착 부족 (underfill), 그리고 마그네슘의 손실 (magnesium loss) 에 의하여 발생한다고 연구 하였다. 그러므로 이를 극복할 수 있는 방법으로 용가 와이어 (filler wire) 를 이용하여 알루미늄 합금을 용접하는 방법과³⁾ 레이저와 아크 용접을 결합한 하이브리드 용접⁴⁾이 제시되고 있다. 알루미늄의 합금의 레이저 용접은 레이저 출력, 용접속도, 보호가스 등에 의하여 많은 영향을 받는다.^{5, 6)} 그리고 용가 와이어를 이용하는 경우 위와 같은 변수 이외에 와이어 공급속도 또한 매우 중요한 변수로 작용한다.³⁾ 그러므로 용가 와이어를 이용한 레이저 용접에서 용접부 특성이 어떻게 변하는지를 앞으로 자동차 차체에 알루미늄 5000 계열 판재의 적용 가능성을 판단 할 수 있다.

본 연구에서는 알루미늄 합금인 AA5182 판재에 대하여 용가 와이어 AA5356 을 이용한 Nd YAG 레이저 용접에서 용접 공정 변수인 레이저 출력, 용접 속도, 그리고 와이어 공급 속도에 따른 용입형태, 용접 비드 형상, 인장 강도와 성형성의 특성 변화를 관찰하였다. 분산 분석을 통하여 각 용접 제어 인자가 용접 특성에 미치는 영향을 정량적으로 살펴보았다.

II. 실험방법

용가 와이어를 이용한 AA5182의 Nd YAG 레이저 용접 실험 시스템은 Fig 1과 같다. 실험에 사용된 레이저는 최대 출력이 44 kW인 연속 발진 Nd:YAG 레이저이고, 레이저 빔의 단면 출력을 나타내는 TEM mode는 TEM₀₀ 이었다. 초점 거리는 250mm, 레이저 빔의 초점 지름은

04 mm 였다. 보호가스 (shielding gas)는 아르곤 (Ar) 를 이용하여 용접 방향의 앞에서 와이어가 공급되는 것과 같은 축으로 공급하였고, 판재의 하부에서 채널을 이용하여 공급하였다. 레이저는 직각으로부터 18° 를 기울였다. 그 이유는 알루미늄은 레이저의 반사율이 높아 레이저가 알루미늄 판재에 조사 될 때, 역반사 (back reflection) 된 레이저 빔에 의하여 레이저 시스템과 광학계에 영향을 주는 것을 방지하기 위해서 이다.

용접 방법은 맞대기 용접을 하였다. 실험에 사용된 판재는 AA5182 로 합금의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 시편의 두께는 1.4 mm 였고, 용접 길이는 280 mm 였다. 용가 와이어는 AA5356으로 직경 1.2 mm 였다. 용접 그르부 면을 밀링가공하여 일정한 상태를 유지였고, 용접 직전에 아세톤으로 모재를 닦아 알루미늄 산화막 제거와 용접부 청결 상태를 유지하였다.

레이저 용접에서 제어인자로는 레이저 출력 (laser power LP), 용접 속도 (welding speed WS), 그리고 용가 와이어 공급 속도 (wire feed rate · WFR) 로 하였다. 실험은 레이저 출력을 4, 3.5, 3 kW, 용접 속도를 6, 7.5, 9 m/min 그리고 와이어 송급속도를 2, 3, 4 m/min 으로 각각 3수준으로 나누어 수행하였다. 총 용접 조건은 27개 였고, 반복 회수는 3회로 하여 전체 실험의 회수는 81회 였다. 레이저 용접 실험의 고정인자로는 초점의 위치는 0, 보호 가스 유량은 상부에서 20, 하부에서 10 l/min 이었다.

III. 실험 결과 및 고찰

용가 와이어를 이용한 알루미늄 레이저 용접의 용접 특성을 평가하였다. 이를 위하여 용접부의 형상을 알 수 있도록 단면 사진을 이용하여 용입 깊이, 표면 비드 폭, 이면 비드폭, 그리고 보강 비드의 높이를 측정하였다. 용접부의 강도를 평가하기 위하여 인장시험을, 용접부 형성의 평가를 위해 에릭슨 시험을 수행하였다.

용가 와이어 송급속도가 2 m/min 인 경우의 용접부의 단면 사진은 Fig 2 와 같다. 용접 입열이 큰 경우, 용접부가 크고 완전 용입이 발생한 반면, 입열이 작은 경우는 필러 와이어만 녹아서 모재의 위에 덧살 (reinforcement) 만을 형성한 비드모습을 보여주고 있다. 용입 깊이는 레이저 출력이 커질수록, 용접 속도가 느릴수록 그리고 용가 와이어 공급 속도가 느릴수록 깊어지고 있다. 그리고 덧살의 높이의 경우는 와이어 공급속도에 비례하고 용입 깊이와 이면 비드의 크기와 반비례하는 경향을 갖는다.

용가 와이어를 이용한 레이저 용접의 인장 실험 결과는 Fig 3과 같다. AA5812 합금의 모재의 인장강도는 277 N/mm² 이다. 파단의 형태에 있어서 277 N/mm² 보다 높은 인장강도에서는 모재에서, 그렇지 않은 경우는 용접부에서 파단이 일어났다. Fig. 3에서 보는 바와 같이, 모재의 인장강도를 기준으로 볼 때, 용가 와이어의 공급량이 많아질수록 적정 용접의 범위가 줄어들어 알 수 있는데 이것은 같은 입열인 경우 용가 와이어 (filler wire)의 공급으로 인하여 입열이 용가 와이어 (filler wire)를 녹이는데 많이 분산되므로 모재를 녹이는데 필요한 열량이 줄어들기 때문으로 사료된다. 그리고 용접 조건에 따라 약간의 기공이 형성됨을 알 수 있었으나, 용접부의 덧살에 의해 단면적이 커지므로 이를 보완하는 것으로 사료된다.

용가 와이어를 이용한 에릭슨 실험의 결과는 Fig. 4와 같다. 각 와이어 공급 속도에 대하여 용접 속도와 레이저 출력에 따라 에릭슨 시험 시편의 파단형태, 편치가 상승한 값으로 측정되는 에릭슨 값 그리고 모재의 에릭슨 값에 대한 용접 시편의 에릭슨 값의 비인 에릭슨 비 (Erichen ratio) 를 나타내었다. 파단 형태는 용접부에 수직으로 파단되는 형태와, 수평으로 파단되는 형태로 나눌 수 있으며, 이것은 에릭슨 비가 0.75를 기준으로 나뉘게 된다. 완전 용입이 발생하는 입열량에 대해서는 대체적으로 와이어의 송급 속도가 클수록 에릭슨 값이나 모재에

대한 비가 커지고 있다 이것은 와이어에 의하여 충분한 덧살 높이가 형성되기 때문이다

결과적으로 와이어 공급 속도가 증가 할수록 레이저에 의해 입사되는 입열을 분산시키고 이것은 높은 와이어 공급 속도에서 적정의 용접 조건의 범위가 적어짐을 알 수 있다 그리고 와이어 공급 속도가 낮은 경우는 완전 용입되는 범위는 커지나 와이어 공급에 의한 효과가 작아지고 있음을 알 수 있었다 그러므로 적정한 용접 조건이 존재함을 알 수 있었다

IV. 분산 분석을 이용한 제어 인자의 영향력 평가

각 용접 조건이 용접성으로 평가 될 수 있는 인장 강도와 에릭슨 비에 대한 영향력을 정량적으로 평가하기 위하여 분산 분석을 수행하였다 인장 강도에 대한 분산분석의 결과는 Table 2 와 같다 Table 2에서 보는 바와 같이, 인장강도와 에릭슨 비에 가장 큰 영향력을 주고 있는 것은 3개의 제어인자 중에서 레이저 출력임을 알 수 있다 이외에 용접속도와 와이어 송급 속도가 인장강도에 영향을 주는 것으로 나타났다 와이어 송급속도와 레이저 출력, 그리고 레이저 출력과 용접속도에 대하여 교호 작용에 있다고 할 수 있다 그러나 그 영향력은 각각의 인자에 비해 상대적으로 매우 작음을 알 수 있다

V. 결론

알루미늄 합금인 AA5182 판재에 대하여 용가 와이어 AA5356 을 이용한 Nd YAG 레이저 용접에서 용접 공정 변수인 레이저 출력, 용접 속도, 그리고 와이어 공급 속도에 따른 용입형태, 용접 비드 형상, 인장 강도와 성형성의 특성 변화를 관찰하였다 용접 입열이 많아 질수록 비드 형상이 나타났다. 그리고 용접 입열이 충분한 경우는 인장 시험 결과 모재부에서 파단이 형성되고 에릭슨 시험 결과도 모재부에서 파단이 되는 것을 확인하였다 그러므로 용가 와이어를 이용하는 경우, 건전한 용접부를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 분산 분석을 통하여 각 용접 제어 인자가 용접 특성에 미치는 영향을 정량적으로 살펴보았고, 레이저의 출력이 가장 영향력 있는 인자임을 알 수 있었다

VI. 참고문헌

- 1 G Mather · The welding of aluminium and its alloy, Woodhead Publishing Ltd, (2002)
- 2 M Pastor, H Zhao, R P. Martukanitz and T Debroy Porosity, underfill and magnesium loss during continuous wave Nd YAG laser welding of thin plates of aluminum alloys 5182 and 5754, Welding Journal 78 (6), pp 207s-216s, (1999)
3. M. Naeem and R. Jessett . Aluminum tailored blank welding with and without wire feed using high power continuous wave Nd YAG laser, SAE Conference Proceedings P (334), pp 247-256, (1998)
- 4 S Uchiumi, J Wang, S Katayama, M Mizutani, T Hongu and K Fujii : Penetration and welding phenomena in YAG laser-MIG hybrid welding of aluminum alloy, Proceedings of the 23rd International Conference on Application of Lasers and Electro-Optics 2004, (2004)
5. K H Leong, K R Sabo, B Althshuller, T L. Wilkinson and C E Albright Laser beam welding of 5182 aluminum alloy sheet, Journal of Laser Applications, 11(3), pp. 109-118, (1999)
- 6 윤종원, 이윤상, 박현성, 신현일 · 알루미늄 합금 레이저 용접부의 기계적 성질에 영향을 미치는 인자, 대한용접학회 춘계학술발표대회, pp 131-133, (2004)

Table 1 Chemical composition of AA5182 (wt%)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg
0.06	0.19	0.02	0.24	4.46
Cr	Zn	Ti	other	Al
0.03	0.03	0.01	0.02	Val

Table 2 ANOVA for tensile strength about welding parameters

Factor	SS	DOF	MS	F ₀
WFR	38,868	2	19,434	60.5
SP	161,253	2	80,626	251.1
WS	83,573	2	41,786	130.23
WFR × LP	18,530	4	4,632	14.4
WFR × WS	905	4	226	0.71
WS × LP	28,051	4	7,012	21.8
WFR × LP × WS	5,742	8	717	2.2
Error	40,775	127	321	
Total	928,421	154		

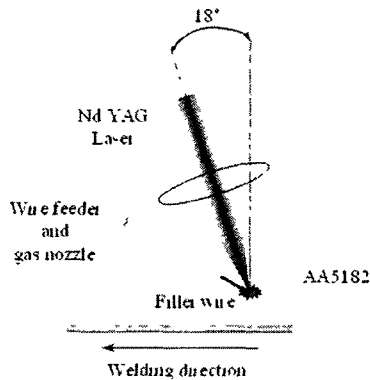


Fig 1 Experimental setup

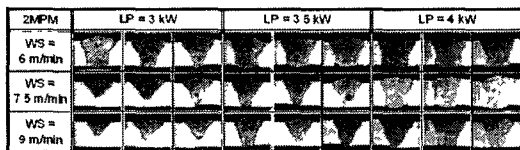
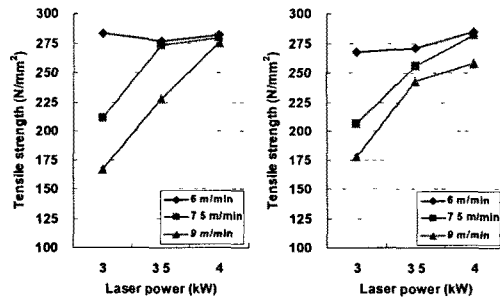
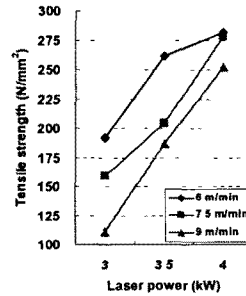


Fig 2 Macro photo of cross section

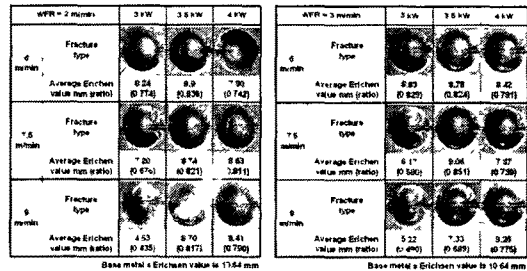


(a) WFR = 2 m/min (b) WFR = 3 m/min

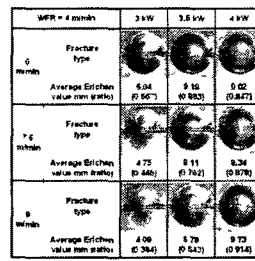


(c) WFR = 4 m/min

Fig 3 Result of tensile strength



(a) WFR = 2 m/min (b) WFR = 3 m/min



(c) WFR = 4 m/min

Fig 4 Result of Erichsen test