

고출력 Nd:YAG Laser를 이용한 Al5052합금의 용접특성 연구

A Study on the Weldability of Al 5××× Alloys with High Power Nd:YAG Laser

(주)성우하이텍 이문용, 정병훈, 오상진
한국기계연구원 서 정

1. 서론

자동차에 대한 요구성능은 점차 높아가고 주행성능 및 내구성의 향상, 소음의 저감, 배기가스의 대책과 충돌 안전대책 등의 수요욕구에 부응하기 위하여 각종 기능이 추가되고 있다. 이러한 요구사항은 자동차의 중량을 증가시키는 요인이 되어 연비를 낮추는 원인이 된다.

또한 지구환경 보존의 측면에서는 자동차의 배기가스에 포함된 CO₂ 가스 증가에 따른 오존층 파괴에 의한 지구 온난화 현상이 날로 심각해져 선진국에서는 자동차의 배기가스 규제가 강화되고 있는 추세이며^{1,2)}, 정부도 이에 최근에 배기가스의 규제를 선진국 수준 이상으로 강화시키겠다는 발표가 있었다.

통상 연비향상을 위해서는 엔진 및 구동계의 효율향상, 주행저항저감 등의 디자인 및 구조개선, 그리고 재료변경에 의한 경량화 방법이 있는데 엔진의 효율향상과 주행저항감소를 통한 연비향상은 현재 거의 한계에 도달한 상황이어서 차체 중량감소에 의한 연비 향상이 가장 크게 기대되고 있다.

통상 자동차 차체 중량이 1%감소하면 연비는 약 1%향상된다는 보고가 있다.³⁾ 차체 경량화의 방법으로는 소형화, 부품수의 삭감 및 일체화, 박육화 등이 있지만, 가장 효과가 큰 것은 소재자체의 변경이다. 즉, 냉연강판에서 고강도 강판이나 알루미늄, 플라스틱 등 경량소재의 활용이다. 강판은 최근 담보상태이고, 알루미늄이나 플라스틱이 주목을 받고 있다.

알루미늄 합금은 경량화 소재로서 중요한 위치를 차지하고 있으며, 최근에는 다양한 종류의 알루미늄 합금들에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다.⁴⁾ 알루미늄 합금은 비강도가 높으며 내식성이 우수하여 각종 구조용재료, 기능성 재료로 사용되고 있으나, 가공이 어려운 단점이 있다. 즉, 알루미늄 합금 자체가 지니는 재료 특성은 실제 구조물의 제작에 필요한 용접성에 큰 영향을 주고 있으며, 대표적인 장애 요인은 고상-액상 간 수소의 용해도 차이로 인한 기공 생성 및 빠른 열전도율로 인한 균열의 발생이다. 알루미늄 합금의 경우 용접부 내부에서의 균열은 고온균열(Hot crack)로서 용융부(Fusion Zone)에서 액상이 응고시 생성되는 응고균열(Solidification crack)과 함께 열영향부(Heat Affected Zone)에서 저용점상의 존재로 인한 액화균열(Liquation crack)이 관찰된다. 특히 레이저 keyhole 용접에 있어서 이러한 결함들이 많이 발생한다.^{5~8)}

이에 본 논문에서는 일반적인 keyhole 용접에 비교하기 위하여 레이저 conduction 용접을 시도하여 용접특성을 비교해 보고자 하였다.

II. 실험

2.1 실험재료

시험에 사용된 재료는 비열처리형 알루미늄 합금인 Al 5052를 사용하였다. 재료의 두께는 1.5mm이며 화학성분은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 The chemical composition of 5052 aluminum alloys

AA	Chemical composition(wt%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	기타	Al
5052	0.128	0.263	0.015	0.037	2.554	0.009	0.180	-	0.050	Bal

2.2 시험장치 및 방법

레이저 용접에 사용된 장치는 최대출력 4kW의 연속파 Nd:YAG 레이저이며 렌즈는 focal length가 200mm인 것을 사용하였고 focus size는 0.6mm이다. 시편은 맞대기 용접(butt-weld)을 하였다. 레이저 용접은 conduction 용접을 하였으며 기존의 keyhole 용접과 비교하였다. 용접조건은 레이저 출력은 3.5kW로 일정하게 하고 용접속도를 3.0~3.9m/min으로 변화를 주었으며, 초점위치는 -9mm로 defocusing 하였다. 보호가스는 모든 조건에서 Ar-25ℓ/min으로 불어주었으며, 6mm의 직경을 갖는 구리튜브로 70°의 각도로 공급하였다.

각각의 인장강도를 알아보기 위하여 인장시험을 했으며 인장시험편은 KS 13호 규격으로 채취하였다. 모재와 용융부의 경도 차이를 알아보기 위해서 마이크로 비커스 경도시험을 하였다. 하중은 50g, 간격은 0.25mm로 측정하였다.

용접부의 조직과 결합 그리고 용접면 형상을 알아보기 위하여 현미경 조직사진과 전자현미경(SEM)촬영을 했다.

III. 실험결과 및 고찰

3.1 단면 형상 및 조직사진의 비교

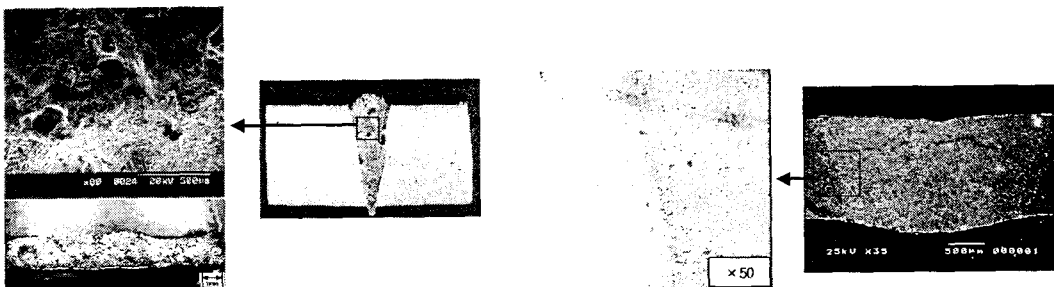
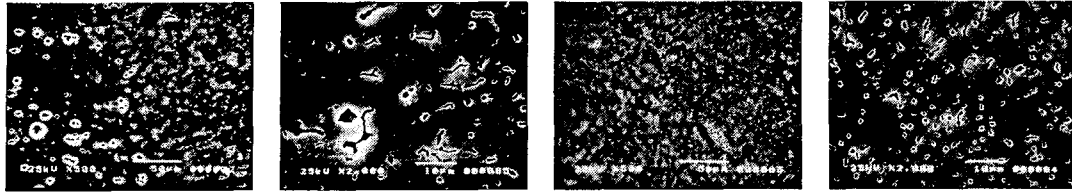


Photo 1 Cross section of keyhole weld

Photo 2 Cross section of conduction weld

그림 photo 1은 종횡비가 큰, 즉 비드폭이 좁고 깊이가 깊은 전형적인 keyhole 용접 형상을 보이는 반면, photo 2는 비드폭이 매우 커져 있는 것을 볼 수 있다. 또 keyhole 용접부에서는 크고 작은 기공들이 많이 있는 반면 conduction 용접부에서는 커다란 기공은 눈에 띄지 않는다.



(a) base×500 (b) base×2000 (c) melt×500 (d) melt×2000

Photo 3 SEM Microstructure of base metal and melted zone

3.2 경도시험의 결과 비교

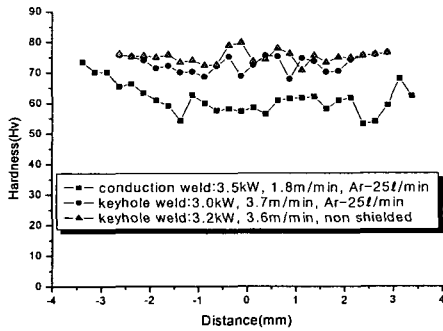


Fig. 1 Keyhole 용접과 conduction 용접의 경도시험 결과 비교

경도시험 결과는 keyhole 용접의 경우에 용융부의 경도하락이 conduction 용접에 비해서 작다. 이것은 키홀용접의 경우에 용접속도가 더 빠르기 때문에 용접후 냉각속도의 차이에 기인하는 것으로 말할 수 있다. conduction 용접의 경우 비드폭도 keyhole 용접에 비해 용접속도가 느리기 때문에 더 넓다.

3.3 인장강도 비교

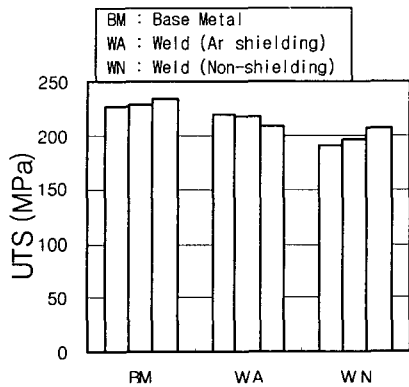


Fig.2 keyhole 용접의 인장시험 결과

보호가스를 사용하지 않은 용접의 경우 상·하 비드에 불연속부가 많이 존재하였으며, 하부비드의 경우 용접열에 의해 용융된 금속이 중력의 작용으로 비드처짐(spiky 현상)이 발생하였다. 반면에 Ar 가스를 사용한 경우에는 상·하 비드가 양호하였고 결함도 상대적으로 많이 줄어들었다. 용접부 내부에 많은 기공들이 존재하였고 특히 보호가스를 사용하지 않은 경우에 크고 많은 기공들과 균열이 존재하였다.

경도시험, 인장시험 및 성형성시험 결과 경도값은 보호가스에 영향을 받지 않는 것으로 나타났고 인장강도는 보호가스를 사용한 경우 약6~8%향상되었으며, 연신율은 보호가스를 사용한 경우에 약15~17%향상되었다.

압 성형성시험 결과는 보호가스를 사용한 경우에 약13% 개선되었으며 또한 보호가스사용 유무와 관계없이 용접부에서 파단이 일어났다. 현재 conduction welding 결과는 분석중에 있으며, conduction welding의 경도시험 조건에 의하면 상승할 것으로 예측되며 추후 결과 발표할 예정이다.

IV. 결론

알루미늄합금 Al 5052의 레이저 keyhole 용접과 conduction 용접의 용접성 실험 결과는 keyhole 용접보다는 conduction 용접이 비드외관도 우수하고 용접부 내부의 결함 즉 기공의 크기도 작고 수량도 적게 나타났다. 또한 keyhole 용접에서 발견된 균열도 conduction 용접에서는 발견되지 않았다. 또한 용접부의 기계적 특성도 conduction 용접의 경우에 우수할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 1) 박규섭 : 자동차 경량화의 현황과 전망, 자동차경제 pp.24-29, 1997.
- 2) P.A. Allen, D.W. Mculough and S.A. Tan : Extruded Aluminum Bumper System, SAE, 940159, 1994.
- 3) 자동차 경량화 특집 : 알루미늄 합금의 경량화(I), 자동차 경량화와 프레스 가공(II), 프레스 기술, 29-2호 p17-64, 1991.
- 4) H.Liebermann:Metallurgical and Materials, Transaction B, Vol 15B pp155-161, 1984.
- 5) P.Oken, G.Dearden, K.Watkins, M.Sharp, P.French : Laser Welding of Aluminum Alloy 5083, Proceeding of ICAELO 2002.
- 6) 김장량, 하용수, 강정윤, 김인배 : 고강도 Al합금 A5083 및 A7N01의 CO₂ 레이저 용접성, 한국레이저가공학회지, Vol. 4, No. 2, pp. 1~12, 2001.
- 7) 윤종원, 이윤상, : 5052 및 6061 알루미늄 합금 레이저 용접에 관한 연구, 기계관련 산학연합심포지엄 강연 및 논문집(대한용접학회편), pp. 186~191, 2002.
- 8) 윤종원, 이윤상, 이문용, 정병훈 : 알루미늄 합금 레이저 용접부 성질에 미치는 Ar 보호가스의 영향, 한국레이저가공학회 추계학술발표대회 논문개요집, pp. 55~58, 2002.