

# AZ31 마그네슘 합금 레이저 용접부의 기계적 성질에 관한 연구

이문용 · 정병훈 · 정성문 · 박현준  
(주) 성우하이텍 기술연구소

## Study on the Mechanical Properties of Laser Welded AZ31 Magnesium Alloy

M. Y. Lee, B. H. Jeong, S. M. Jeong and H. J. Park  
Technical Institute, Sungwoo Hitech Co., Ltd

### Abstract

This study aimed to investigate the change of mechanical properties with the rolling direction and shielding condition during laser welding of AZ31 magnesium alloy. AZ31 magnesium alloy sheets of 1mm thickness were welded using a continuous wave Nd:YAG laser with and without Ar shielding gas. The effect of Ar shielding gas and rolling direction on the mechanical properties were investigated using Vickers hardness, transverse-weld tensile. Porosity in the weld metals was investigated using an optical microscope. The experimental results showed that mechanical properties of AZ31 magnesium alloy laser welds were upgraded compared to those of base metal. Mechanical properties of AZ31 magnesium alloy laser welds were not substantially changed when Ar shielding gas was supplied.

**Key words** : AZ31 magnesium alloy, Laser welding, Rolling direction, Ar shielding gas, Mechanical properties

## 1. 서 론

세계적으로 자동차의 생산량이 급증함에 따라 안전성 향상과 대기오염에 의한 지구 온난화문제와 제한된 석유자원의 고갈에 대한 대체에너지 문제가 점점 부각되고 있다. 선진국들을 중심으로 지구환경보호를 위해 환경규제 기준을 더욱 강화하여 적용하고 있다. 미국은 1978년부터 기업평균연비(CAFE) 규제를 시작하였으며<sup>1)</sup> 연방정부보다 엄격한 기준을 채택하여 환경규제의 선도적인 역할을 하는 캘리포니아주에서는 2005년 4월 보다 강화된 배출가스규제 법안을 통과시켰다. 앞으로는 기존의 자동차보다 연비효율이 좋고, 배기가스의 배출이 적은 자동차의 연구개발이 가속화될 전망이다.

자동차 연비효율을 향상시키는 방법으로는 엔진과 구동계의 효율향상, 주행저항을 저감할 수 있는 차체디자인 설계, 차체의 소형화 및 경량소재 활용을 통한 차체중량 감소 등이 있다. 엔진과 구동계의 효율향상과 주행저항 감소를 통한 연비효율향상은 현재 기술개발이 한계에 도달하여 큰 효과를 기대하기는 어려운 실정이며, 차체 소형화는 경량화 효과는 뛰어나지만, 안전하고 다양한 기능을 원하는 소비자 욕구를 만족하지 못 한다. 현 상황에서 연비효율향상의 방안으로는 알루미늄, 마그네슘 등과 같은 경량금속재료를 적용하여 차체 중량을 감소시키는 것이다. 최근 들어 마그네슘합금에 대한 전 세계적인 수요량의 증가에 발맞추어 중국, 이스라엘, 호주 등지에서 합금 제조를 위한 설비투자 및 생산량이 점차 증가하고 있어 향후 원소재 가격의 하락과 안정세가 예상되고 있으며, 마그네슘 합금의 탁월한 경량성으로 인하여 연비향상을 위한 자동차 부품재료로서 크게 부각되고 있다. 부품의 경량화는 차체중량의 감소뿐만 아니라 그를 지지하는 구조물의 무게감소가 가능하기 때문에 그 효과가 파급되는 더욱 큰

장점이 있다. Fig. 1은 Mg밀도를 1로 환산하였을 때의 상대밀도를 나타내었다. 경량합금으로서 마그네슘 합금은 매우 우수한 비강도 강성 등을 지니고 있으며, 높은 열전도도와 열적 안정성, 우수한 전자파 차폐기능으로 인하여 cellular phone, camera, potable computer 등의 전자산업에서는 적용을 많이 하고 있으며 자동차부품 재료로서는 cylinder head cover, steering wheel frame 등 사용되고 있으며, 앞으로 그 사용범위는 계속 확대될 것으로 전망된다. 그러나 마그네슘 합금은 산화성이 높으며, 내식·내열성이 낮고 특히 성형 가공성이 매우 열악하기 때문에 용접부 성형 및 용접특성에 대한 보다 활발한 연구가 필요한 실정이다.

본 논문에서는 마그네슘 합금에 대한 레이저용접의 기초연구로서 AZ31 마그네슘 합금의 레이저 용접시 소재의 압연 방향의 차이와 보호가스의 유무에 따른 용접성 및 기계적 특성에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험재료 및 실험방법

### 2.1 실험재료

본 연구에 사용된 용접재료는 마그네슘 합금 AZ31로서 우수한 강도와 연성을 가지는 전신재 합금이며, 두께 1.0mm판재로 현재

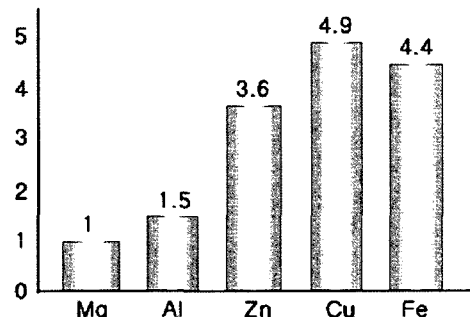


Fig. 1 Relative density comparison(if density of Mg 1.0)

널리 사용되고 있는 마그네슘 합금중의 하나이다. AZ31은 Mg-Al-Zn계 합금으로 냉간가공에 의해 강도와 인성을 높일 수 있으며 성형성 및 용접성이 양호한 재료로 알려져 있다. 그 화학적 조성은 Table 1에 나타내었다.

## 2.2 실험방법

레이저 용접에 사용된 장치는 1,064nm의 파장을 가진 최대출력 4kW의 연속파 Nd:YAG 레이저이며 집광렌즈는 초점거리(focal length)가 200mm인 것을 사용하였으며 fig. 2에 레이저용접 시스템을 나타내었다. 마그네슘합금 AZ31의 최적용접조건을 선정하기 위하여 레이저 출력 및 용접속도를 다양하게 변화시키며 레이저 용접을 실시하였으며 광학 현미경을 통하여 용접부 단면을 관찰하였다. 최적조건 선정 후 같은 방법으로 AZ31 마그네슘 합금의 압연방향과 압연방향의 수직방향으로 Bead on plate를 실시하였다. Fig. 3에서와 같이 압연방향과 용접방향이 수평이면 수평(horizontal), 압연방향과 용접방향이 수직이면 수직(vertical)이라고 용어를 정의하였다. 보호가스의 영향을 평가하기 위하여 Ar-10 l/min의 조건을 각각 적용하였으며, 6mm직경의 구리튜브를 사용하

Table 1 The chemical composition of AZ31 magnesium alloy (wt. %)

	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
AZ31	3.01	1.0	0.2	0.05	0.05	0.005	0.005	Bal.

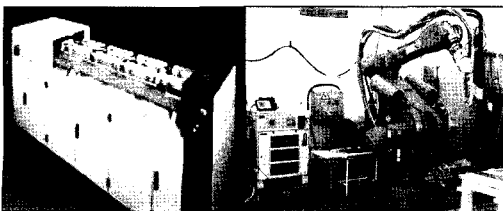


Fig. 2 Nd:YAG laser(4kw) welding system

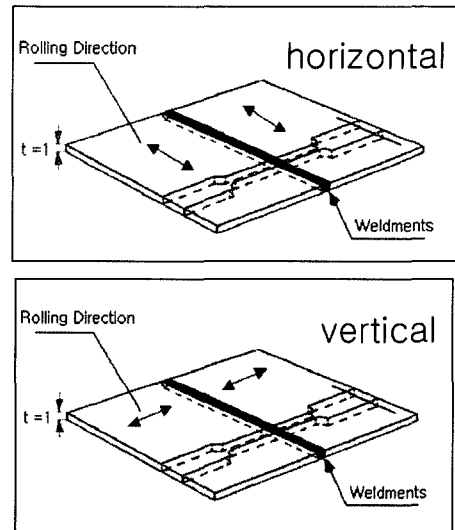


Fig. 3 Definition of terms between welding and rolling direction

여 60°의 각도로 용접부에 공급하였다. 용접부 단면 형상 및 조직을 관찰하기 위하여 광학 현미경을 사용하였으며 KS13호 규격의 인장시편을 채취하여 인장강도 및 연신율을 측정하였다. 모재와 용융부 사이의 경도분포를 관찰하기 위하여 Micro Vickers hardness tester를 이용하여 하중 100g에 0.25mm 간격으로 경도를 측정하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

Fig. 4은 마그네슘합금 AZ31의 최적용접조건을 선정하기 위한 실험결과를 나타낸다. 용접속도1.8m/min 이하의 저속용접조건에서는 0.5kW의 저출력에서도 과다 입열에 의한 용접부 처짐이 발생되며, 이로 인하여 비드표면에는 오목비드 형상의 불완전한 용접비드가 형성되었다. 반면 고속 용접조건에서는 1kW출력에서 적정한 입열에 의한 비교적 안정된 용접비드를 얻을 수 있었다.

마그네슘합금 AZ31의 레이저 용접성에 미치는 재료의 압연방향과 보호가스의 영향

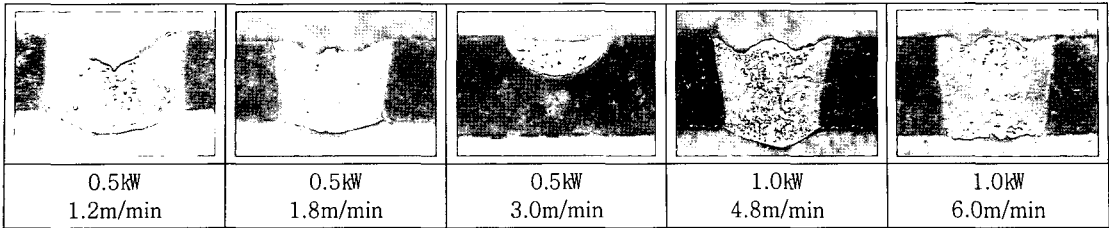


Fig. 4 The variation of cross section by laser power and welding speed

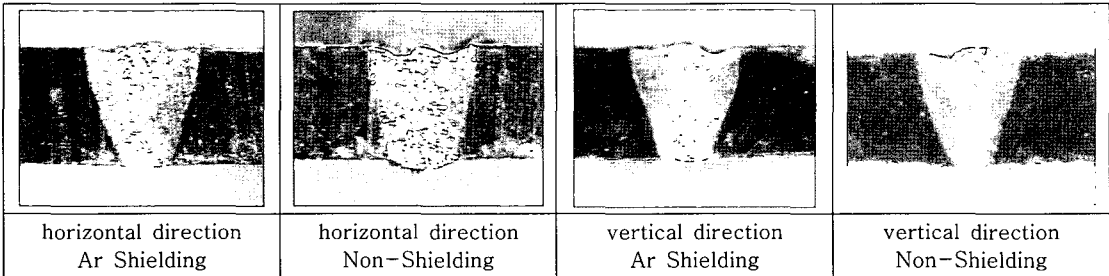


Fig. 5 The variation of cross section by rolling direction and shielding condition

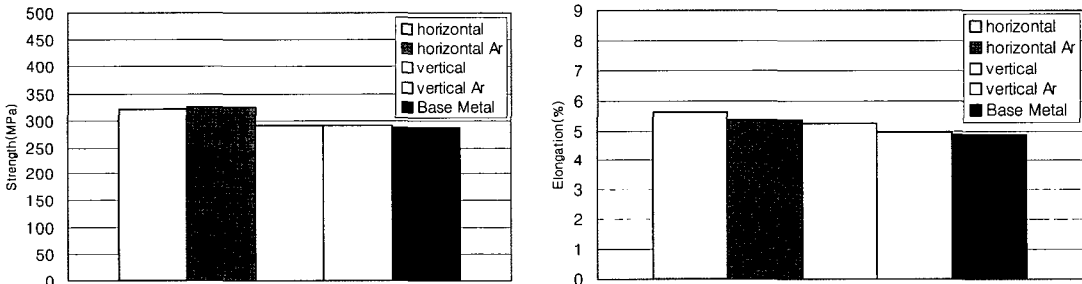


Fig. 6 Ultimate tensile strength and elongation of AZ31 magnesium alloy by rolling direction and shielding condition

을 조사하기 위하여 실험을 행하였다. 실험 조건은 앞의 실험에서 얻어진 출력 1.0kW, 용접속도 6.0m/min의 용접조건을 적용하였으며 압연방향에 대하여 평행한 방향과 수직방향에서 보호가스의 유무에 따라 레이저 용접을 실시하였다. 각 용접조건에 대한 단면사진을 Fig. 5에 나타낸다

용접단면의 관찰결과 레이저 용접시 압연 방향의 수평방향과 수직방향 및 Ar 보호가스 유무에 대해서는 용접부 단면에는 큰 차이가 나타나지 않았다. 용접부 단면에는 porosity 이나 crack은 발견되지 않았으며, 용접비드

에는 모재의 증발에 의하여 under cut이 발생하였다. Ar 보호가스를 사용하였을 경우에는 under cut 형상이 비드(bead)표면에서 완만한 것을 알 수 있었으며, 추후 under cut방지를 위하여 보호가스 유량변화에 따른 실험이 요구되어 진다. 그리고 용접 후 용접조건에서 소재가 열 변형되어 휘어지는 현상이 관찰되었다.

Fig. 6에서 보듯이 AZ31 마그네슘 합금 레이저 용접부의 인장강도 및 연신률은 압연방향에 대하여 영향이 나타났으며, Ar 보호가스의 사용유무에 대해서는 큰 변화를

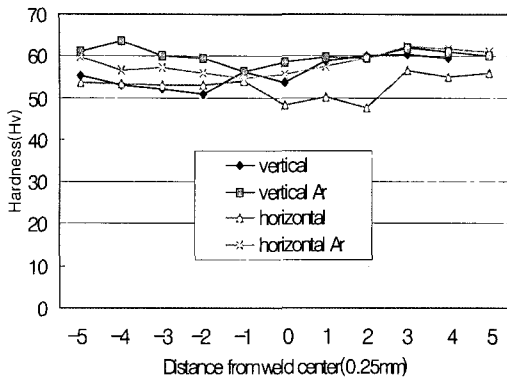


Fig. 7 Transverse hardness distribution across the laser welded Mg alloy

찾지 못 하였다. 마그네슘 합금의 맞대기 용접시 용접부의 강도 및 연신율이 모재보다 저하된다는 연구결과<sup>2~4)</sup>와는 다르게, 인장강도는 모재 대비하여 수평방향(horizontal)에서 약 12%정도 상승하였으며, 수직방향(vertical)에서는 큰 차이가 보이지 않았다. 연신율은 수평방향에서는 상승하는 경향을 보였으며, 수직방향에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 모재의 기준은 수직방향으로 선정하였다.

AZ31 마그네슘 합금의 레이저 용접부 경도값은 모재의 경도값에 비해 약간 감소하였으며, 이들 경도값은 Fig. 7과 같이 레이저용접시 소재의 압연방향과, Ar 보호가스 사용 여부에 대해서는 큰 영향은 나타나지 않았다. 레이저 용접시 Mg 모재의 조직내부에 형성된 변형쌍정의 소실과, Mg 원소가 증발 손실됨으로서 고용경화 효과가 저하되어<sup>4,5)</sup> 용접금속의 경도값이 다소 감소한 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

AZ31마그네슘 합금에 대하여 레이저용접을 실시하고 기계적 특성을 모재부와 비교하여 평가한 결과를 다음과 같이 요약한다.

1) AZ31의 레이저용접시 출력과 용접속도의 변화에 따라 용접성을 평가한 결과 1.0kW의 출력과 6.0m/min의 용접속도에서 양호한 용접부를 얻을 수 있었다.

2) 용접부 단면에는 기공이나 균열은 발견되지 않았으며, 용접비드에는 모재의 증발에 의하여 under cut이 발생하였다.

3) Ar 보호가스의 사용 유무 및 압연 방향에 대한 실험 결과 용접부의 최대인장강도, 연신율 및 경도에 미치는 영향은 크지 않은 것으로 나타났으며 수평방향의 용접부 인장강도 및 연신율 값이 수직방향의 용접부보다 높게 나타났다.

#### 5. 참고문헌

1. CAFE(연비규제) 환경문제조사보고자료, FOURIN, 1991
2. Sanders, P. G., : High power Nd:YAG and CO2 laser welding of magnesium, Journal of Laser Applications, Vol.11, No2, pp. 96~103, (1999)
3. Dr. Sun Zheng, Dr. Wei Jun, Pan Dayou, Tan Yang Kuang : A Comparative Evaluation on Microstructures in TIG and Laser Welded AZ31 Magnesium Alloy. Joining Technology Group, Process Technology Division, (2001)
4. 이목영, 장웅성, 윤병현 : 자동차용 Mg 합금판재의 레이저 용접에 관한 연구, 제8회 고에너지연구위원회 연구발표회 논문집, pp. 86~92(2005)
5. W. W. Duley : Laser Welding (1st Edition), Jone Wilry & Sons Inc., pp. 207~216(1998)

