

## 6K21-T4 알루미늄 합금 Nd:YAG 레이저 용접성에 미치는 보호가스의 영향 The effect of shielding gas on the Nd:YAG laser weldability of 6K21-T4 aluminum alloy

강준일\*, 윤종원\*\*

\* 동의대학교/대학원 신소재공학과

\*\* 동의대학교/재료금속공학과

### 1. 서 론

차체경량화를 위해 기존의 강재보다 비중이 낮 으면서 유사한 강도를 가지고 있는 알루미늄 합 금판재의 적용이 활발이 연구되고 있다. <sup>1) - 4)</sup> 본 연구에서는 기존의 강재와 유사한 인장강도를 가지는 알루미늄 합금중 성형성을 고려하여 연신 율이 우수한 6K21-T4 알루미늄 합금을 선택하 였다. 그러나 6xxx 계열 알루미늄 합금은 Mg, Si의 함유량이 균열민감도가 높은 영역의 조성을 가지고 있어 용접시 균열이 발생하게 되어 용접 후 모재에 비해 용접부의 기계적 성질이 저하되 는 경향이 있다. <sup>5), 6)</sup> 본 실험은 6K21-T4 알루 미늄 합금 레이저 용접시 Ar, He을 보호가스를 사용해 용접부의 기계적 성질 및 성형성을 개선 하는 연구를 수행하였다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 실험재료 및 시편준비

실험에 사용된 알루미늄 합금모재의 조성은 Table 1에 제시하였다. 6K21 알루미늄 합금은 T4(고용처리하고 자연시효)처리된 상태이며 두께는 2mm이다.

### 2.2 레이저 용접

각 판재는 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100mm×300mm의 크기로 절단하였으며, 이음부 는 기계 가공 없이 I-square butt로 준비하였다. 각 판재를 이음부 간격 없이 지그에 고정시키고 최대출력 4kW 연속파 Nd:YAG 레이저를 사용하 여 맞대기 용접하였다. 용접조건은 Table 2와 같 고, 상부보호가스공급은 Fronius사의 TPS 5000 을 사용해 공급하였으며, 하부보호가스는 지그의 보호가스채널을 사용해 공급하였다.

### 2.3 Metallography

6K21-T4 알루미늄 합금 레이저 용접부의 용 접금속 횡단면, 종단면(centerline, off-center) 및 상부비드를 채취하여 polishing후 Keller 용액으 로 에칭하여 실체현미경과 광학 현미경을 이용하 여 미세조직을 관찰하였다. 한편 횡단면과 종단 면을 2%의 불산 용액을 이용하여 20볼트로 1분 30초간 전해에칭 후 편광 현미경으로 관찰하였 다.

Alloy	Thickness	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6K21-T4	2mm	0.99	0.15	0.01	0.07	0.54	0.01	0.01	0.01	Bal.

Table 1 Chemical composition of aluminum alloy used(wt.%).

Alloy	Thickness.	Shielding gas	Gas flow rate(ℓ/min)		Laser power	Welding speed (m/min)
			Upper	Back		
6K21-T4	2mm	Non	-	-	4kW	5
		Ar	20	10	4kW	5
		He	20	10	4kW	5

Table 2 Laser welding condition.

2.4 인장시험, 경도시험 및 액압성형성(Bulge) 시험

6K21-T4 알루미늄합금 레이저 용접쿠폰으로부터 용접금속이 인장시편 gage부 중심에 횡으로 위치하도록 하여 gage길이가 50mm인 transverse-weld 인장시편을 채취하였으며 cross-head 이동속도는 2.5mm/min로 설정하여 각 용접쿠폰으로부터 3개이상의 인장시험을 수행하였다. Vickers 경도계를 이용하여 200g의 하중으로 용접금속 횡단면 1/2두께 위치에서 용접금속, 열영향부 및 모재에 걸쳐 0.25mm 간격으로 14초 동안 압입자를 가압하여 경도값을 측정하였다. 성형성 시험은 레이저 용접쿠폰을 Bulge 시험용 금형에 장착하고 시편이 파단될 때까지 유압을 가하였다. 파단된 시편을 금형에서 제거한 후 height gage를 사용하여 파단된 돔(dome)의 높이를 측

정하여 성형성의 지수로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 용접결함

Fig. 1과 같이 보호가스 사용유무에 관계없이 상부비드와 종단면에서 균열이 관찰되었다. 보호가스를 사용하지 않은 용접은 기공과 균열이 다수 관찰되었으나 Ar, He보호가스를 사용한 용접은 하나의 균열만이 관찰되었다. 이렇게 보호가스 사용시 기공이 감소한 것은 보호가스에 의한 차폐효과에 의한 것으로 사료된다. Fig. 1의 cross section에서 용접금속 중심부에서는 equiaxed grain이 형성되어 있는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 equiaxed grain은 grain의 떨어짐, 수지상의 파괴, 불균질 핵생성에 의해 생성되고 보호가스

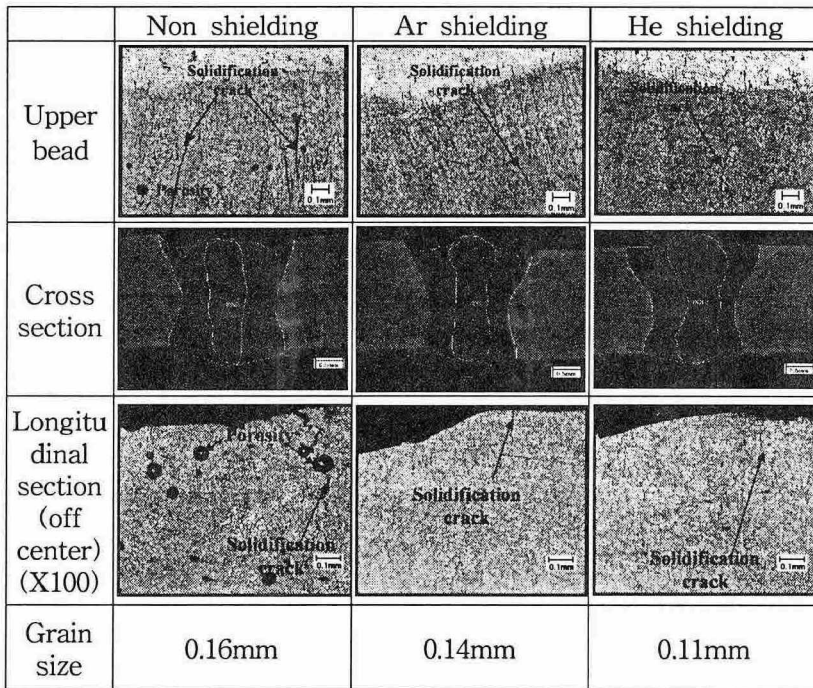


Fig. 1 Upper bead and cross section of laser welded 6K21-T4 aluminum alloy and grain size of longitudinal section(centerline).

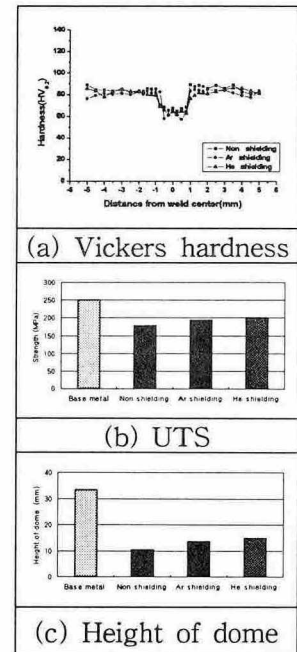


Fig. 2 Mechanical properties and formability

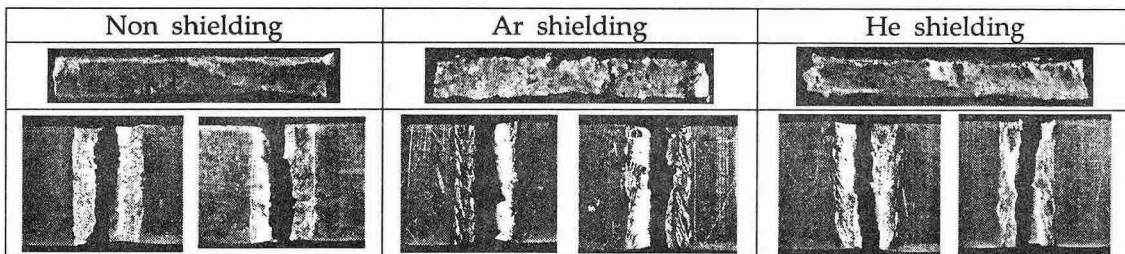


Fig. 3 Fracture surface of tensile specimens

사용시 표면 핵생성에 의해서도 생성된다고 알려져 있다.<sup>5)</sup> 이러한 것은 Fig. 1의 용접부의 종단면에서 측정된 grain size를 비교한 것에서 관찰할 수 있듯이 Ar, He을 보호가스로 사용한 용접부의 grain size는 0.11-0.14mm이었으나 보호가스를 사용하지 않은 용접의 grain size 0.16mm에 비해 작은 것을 관찰할 수 있다. 이러한 것으로 응력 흡수능력이 우수한 미세한 equiaxed grain이 분포하고 있고 균열과 기공이 감소한 Ar, He 보호가스를 사용한 용접부의 기계적 성질이 보호가스를 사용하지 않은 용접부에 비해 우수할 것으로 사료된다.

### 3.2 인장시험, 경도시험 및 액압성형성(Bulge) 시험

6K21-T4 모재의 경도는 Fig. 2의 기계적 성질에서 보듯이 각각 Hv 85였으나 보호가스 사용유무에 관계없이 용접금속에서 Hv 60으로 저하하는 것을 관찰할 수 있다. 이러한 것은 용접시 석출물의 재용해에 의한 석출경화효과의 소멸에 의한 것으로 사료된다. 그러므로 Fig. 2(b), (c)에서 보듯이 모재의 인장강도 250MPa, Bulge시험에서 실제 파단시 돔의 높이인 34mm에 비해 용접시 보호가스 사용유무에 관계없이 용접부의 인장강도 및 성형성이 저하하였다. 인장시험시 Fig. 3과 같이 보호가스 사용유무에 관계없이 경도가 낮은 용접금속에서 파단된 것을 관찰할 수 있었다. 하지만 Fig. 2에서 보듯이 2mm의 맞대기 용접시 보호가스를 사용하지 않은 용접의 최대인장강도는 178MPa로 모재에 비해 현저히 저하하였다. Ar, He을 보호가스로 사용한 용접의 최대인장강도는 194, 201MPa로 모재에 비해서는 저하하였으나 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해서는 향상되었다. 성형성 시험도 최대인장강도와 같이 보호가스를 사용하지 않은 경우 돔의 높이 10.3mm에서 Ar, He을 보호가스로 사용시 13.7, 14.9mm로 향상된 것을 관찰할 수 있다. 이러한 것은 앞의 Fig. 1에서 본 것과 같이 Ar, He보호가스를 사용한 용접에서 기공과 균열이 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 감소하여 용접금속의 유효단면적이 증가한 것에 의한 것으로 사료된다. 또한 보호가스 사용시 용접금속 중심부에 생성되는 응력흡수능력이 우수한 미세한 equiaxed grain에 의한 것으로 사료된다. Fig. 1에서 관찰된 균열에 의해 모재에 비해 용접부의

인장강도가 저하하였으나 Ar, He보호가스를 사용시 기공과 균열이 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 감소하였고 용접금속 중심에 생성된 미세한 equiaxed grain에 의해 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 인장강도 및 성형성이 향상된 것으로 사료된다.

## 4. 결 론

6K21-T4 알루미늄 합금의 레이저 용접시 석출물의 재용해에 의해 석출경화효과의 소멸이 발생하여 기계적 성질 및 성형성이 저하하였다. 하지만 Ar, He보호가스 사용시 균열과 기공의 감소, 그리고 용접금속 중심부에 생성되는 미세한 equiaxed grain에 의해 용접부의 기계적 성질 및 성형성이 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 향상되는 것으로 사료된다. 6K21-T4 알루미늄 합금의 레이저 용접시 Ar, He을 보호가스로 사용하여 용접하는 것이 효과적이었다.

## 참 고 문 헌

1. J. W. Yoon et al., Laser Welding of Aluminium Alloys, TWI Report 517, The Welding Institute, UK, Jan. 1995.
2. J. W. Yoon, Solidification cracking susceptibility of Al-Mg-Si alloy laser welds, International Journal of Korean Welding Society, Dec, 2002, pp 42~46.
3. 오영근, 박현성, 자동차 산업의 레이저 용접적용, 고에너지 연구위원회 연구 발표회, 대한용접학회, Dec, 2001, pp 12~16.
4. Gene Mathers, The welding of aluminum and its alloys, Woodhead Publishing Ltd. & CRC Press LLC, Cambridge, pp 150~155, 2002.
5. Sindo Kou, Welding Metallurgy (Second edition), A JOHN WILEY & SONS, pp 178~187, 2003.
6. 한봉희, 금속재료(개정판), 반도출판사, 1997, pp 206~208.
7. Jennings, P. H., Singer, A. R. E., and Pumphrey, W. I., J. Inst. Metals, 74: 227, 1948.
8. H Yamaoka et. al, Study of prevention of solidification cracking in Al-Mg-Si alloy laser welds. CO2 laser welding of Al-Mg-Si alloys(1st Report), Welding International, 15(5) 370-378, 2001