

알루미늄 합금 레이저 용접부의 기계적 성질에 영향을 미치는 인자 Factors affecting the mechanical properties of aluminum alloy laser welds

윤종원*, 이윤상**, 박현성***, 신현일***

* 동의대학교 재료금속공학과

** 동의대학교 대학원 신소재공학과 (현 고려용접봉(주) 기술연구소)

*** 기아자동차(주)

1. 서 론

차체 경량화 소재인 냉간압연 알루미늄합금 판재는 대부분의 경우 연신율이 15%이하로 연신율 35%이상인 차체용 강판(SPCC, SPCD, SPCE 급)에 비해 성형성이 나쁘다. 알루미늄 합금 용접부의 기계적 성질 및 성형성 또한 모재에 비해 열화됨이 알려져 있다^{1,2,3,4}. 따라서 알루미늄 합금의 경량차체 적용을 위해 모재 및 용접부 기계적 성질 개선이 요구되고 있다.

본 연구에서는 기존의 알루미늄 합금에 비해 연신율이 현저히 개선된 5182-O (연신율 26.6%) 및 6K31-T4 (연신율 28.6%) 알루미늄합금 판재를 선정하여 레이저 용접부의 기계적 성질과 성형성을 평가하고, 이것에 영향을 미치는 주요인자를 조사하였다.

2. 실험 방법

두께 2mm의 5182-O 및 1.2mm의 6K31-T4 알루미늄합금판재를 100mm × 200mm의 쿠폰으로 각각 준비하여 4kW CW Nd:YAG 레이저를 사용하여 I square butt 맞대기 이음으로 용접하였다. 레이저 용접시 Ar 및 He 보호가스를 공급하였다. 5182-O 및 6K31-T4 알루미늄 합금의 화학조성은 Table 1에, 용접 조건은 Table 2에 제시하였다. 용접 비드 상하부, 횡단면, 종단면을 금속 현미경을 이용하여 관찰하였으며, Transverse-weld 인장, Vickers 경도, Bulge 시험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 토의

3.1 5182-O 합금의 레이저 용접성

보호가스를 사용하지 않은 경우 하부 비드의 불균일 처짐 및 상부 비드의 함몰이 관찰되었

다. Ar 또는 He 보호가스를 사용한 경우 균일한 상·하부 비드가 형성되어 개선된 외관을 보이고 있다 (Fig. 1 및 Fig. 2). 이것은 4.4wt.%Mg을 함유한 5182-O 합금 레이저 용접시 Mg의 높은 증기압에 의한 것으로 보인다^{5,6}. Transverse weld 인장시험 및 bulge 시험시 모든 파단은 용접금속을 따라 발생하였다. 용접금속의 Vickers 경도는 보호가스 사용 여부에 관계없이 유사하나, 보호가스를 사용하지 않은 경우 용접부 인장강도 및 성형성은 Ar 또는 He를 사용한 경우에 비해 저하하였다 (Fig. 3). 이것은 보호가스를 사용하지 않은 경우 관찰되는 하부 비드 처짐 및 상부 비드 함몰에 의해 용접금속 유효 단면적이 감소된 것에 의해 영향을 받은 것으로 보인다. 또한 앞서의 연구⁷)에서 보고된 바와 같이 보호가스를 공급하지 않은 경우 Al-Mg 합금 레이저 용접금속 중 발생하는 기공에 의해 기계적 성질이 열화되는 것파도 일치한다. 이로 미루어 5182-O 합금 레이저 용접시 적절한 보호가스를 사용함으로써 용접부의 강도 및 성형성 개선을 이룰 수 있다.

3.2 5182-O 합금 용접부의 성형성

5052-H32, 5754-O, 5083-O 등 Al-Mg 합금은 연신율이 11-15%, 파괴된 Dome 높이로 측정된 성형성은 34-38mm이다. 반면 5182-O 합금의 연신율은 26.6%로 다른 Al-Mg 합금의 약 2배의 연신율을 보이나 성형성은 39.5mm로 다른 Al-Mg 합금의 성형성에 비해 약간 개선되었다.

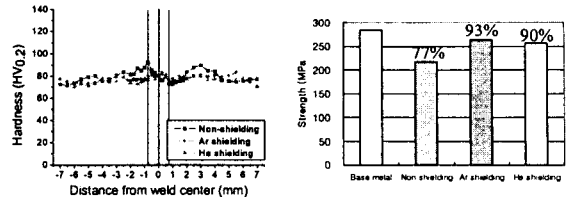
Ar 또는 He 보호가스를 사용하여 최적 조건에서 용접한 경우 5182-O 합금 용접부의 성형성은 23.8mm로 다른 Al-Mg 합금 용접부의 성형성 16-22mm에 비해 약간 개선된 정도이다. 이로써 5182-O 합금의 경우 모재의 연신율이 우수하여도 모재 및 용접부의 성형성은 현저히 개선되지 않음을 확인할 수 있다.

3.3 6K31-T4합금의 레이저 용접성

6K31-T4 합금 용접비드 및 용접 단면을 관찰한 결과 5182-O 합금과 달리 보호가스를 사용하지 않은 경우에도 비드 형상이 균일하며, 비드 처짐, 함몰이 관찰되지 않았다(Fig. 4). 이것은 모재 두께가 1.2mm로 감소된 것과 아울러 불균일 비드 형성 원인의 하나인 Mg 함유량이 0.33wt.%로 낮은 때문으로 보인다. Al-Mg-Si 합금의 특징대로 모든 6K31-T4 용접금속에서 응고균열이 관찰되었다 (Fig. 5). Transverse weld 인장시험 및 bulge 시험시 모든 파단은 용접금속에서 일어났으며, 이 용접금속 파단부에서도 응고균열이 확인되었다. 6K31-T4 합금 레이저 용접부의 경우 인장강도와 성형성이 각각 모재 대비 67%, 24%로 (Fig. 6) 5182-O 합금 레이저 용접부(인장강도 90%, 성형성 60%)와 비교하여 현저히 열화되었다. 이것은 용체화처리후 자연시효로 강도를 확보한 6K31-T4 합금의 경우 용접금속에서 석출상이 재용해되어 강화 효과가 소멸되었을 뿐 아니라 용접금속에 발생한 응고균열로 인해 균열이 없는 건전한 용접금속에 비해 유효단면적이 감소한 때문이다. 따라서 6K31-T4 합금의 경우 5182-O 합금과 달리 보호가스 사용만으로 기계적 성질 개선을 이룰 수 없다. 6K31-T4 합금의 경우와 같이 용접금속 중 발생한 응고균열이 용접부 기계적 성질 열화에 주요 영향 인자로 작용하는 경우 응고 균열 발생을 억제하는 것이 기계적 성질 개선 방안으로 중요하다. 그 방안 중 하나는 앞서의 연구에서 보고된 바^{7,8)}와 같이 많은 량의 공정조성 성분이 용접금속에 형성되어 수지상정 사이 영역, 셀조직 사이 영역, 결정립계등에서 균열발생을 억제시켜 건전한 용접금속을 형성함으로써 어느 정도 기계적 성질이 향상될 수 있다.

3.4 6K31-T4합금 용접부의 성형성

비교재료인 두께 2mm의 6061-T6 합금은 연신율이 11.2%, 파괴된 dome 높이로 측정된 성형성이 33.1mm이다. 6061-T6에 비해 현저히 증가된 연신율 28.6%의 6K31-T4합금은 성형성이 36mm로 5182-O 합금의 경우에서처럼 연신율 증가에 비해 성형성 개선 정도가 뚜렷하지 않다. 6061-T6 합금 용접부의 성형성은 8.6 - 9.7mm, 6K31-T4 용접부의 성형성은 8.7mm로 모재 두께가 다른 것을 고려하여도 성형성 개선이 이루어지지 않음을 알 수 있다. 이것으로 파단부인

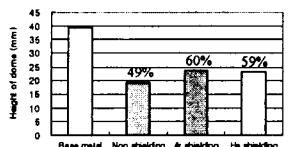


Vickers hardness Ultimate tensile strength

Fig. 3 Mechanical properties of laser welded

Formability

용접금속에서 관찰되는 응고 균열이 성형성을 열화시키는 주요 인자로 보인다. 실제로 6061-T6 합금 레이저 용접의 경우 Si 함유량이 많은 용가재를 사용하여 용접금속중 응고균열 발생을 억제함으로써 성형성을 8.6-9.7mm로부터 16mm로 증가시킬 수 있어⁸⁾ 용접금속 응고균열이 성형성 저하의 주요 요인임을 뒷받침하고 있다. 6K31-T4합금의 성형성 개선을 위해서는 응고균열 발생 억제가 필수적이다. 용접부의 성형성이 연신을 증가와 비례하여 증가되지 않는 것으로 생각된다.



4. 결 론

높은 연신율을 고려하여 차체 경량화 재료로 선정된 5182-O 및 6K31-T4 알루미늄 합금 레이저 용접부는 기존의 알루미늄 합금 레이저 용접부와 비교하여 불 때 성형성 개선이 현저히 이루어지지 않았다. 5182-O 합금의 경우에는 보호가스를 적절히 사용함으로써, 6K31-T4 합금의 경우에는 보호가스 사용과 아울러 용접금속 응고균열을 억제함으로써 개선된 성형성을 얻을 수 있다고 생각된다.

후 기

본 연구는 2003년 청정생산기술 연구사업(A1C-01-02) 결과의 일부로 연구 수행에 협조하여 주신 자동차부품연구원 및 한양대학교 관계자에게 감사드립니다.

참고문헌

1. J. W .Yoon et al., "Study on the mechanical

properties of 5052 aluminum alloy laser welds", J. of Korean Society of Laser Processing, Vol. 6, No. 1 (2003) pp 25~31 (in Korean)

2. J. W. Yoon et al., "Study on the mechanical properties of Nd:YAG laser welded 6061 aluminum alloy", J. of Korean Society of Laser Processing, Vol. 6, No 2 (2003) pp 19~26 (in Korean)

3. D. W. Moon et al., "Laser Beam welding of aluminum alloy 5456", W. J. Vol. 62, No. 2 (1983), pp 53s-58s

4. J. W. Yoon et al., "Effect of Ar shielding gas on the laser weld properties of aluminum alloys", Proc. of KSLP, Nov. 22 2002 pp55~58 (in Korean)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5182-O	0.07	0.19	0.02	0.26	4.44	0.03	0.02	0.01	Bal.
6K31-T4	0.98	0.17	0.84	0.07	0.33	0.02	0.02	0.01	Bal.

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

5. J. W. Yoon, "Solidification cracking susceptibility of

Alloy	Thick ness (mm)	Laser power (kW)	Shielding gas	Gas flow rate(ℓ/min)		Welding speed (m/min)	* Heat input (J/mm)
				Upper	Back		
5182-O	2	4	-	-	-	4.3	93
			Ar	10	10		
			He	20	20		
6K31-T4	1.2	4	-	-	-	9	44.4
			Ar	15	10		
			He	20	10		

Table 2 Laser welding condition.

Al-Mg-Si Alloy laser weld", Int. J of KWS Vol.2

Non-shielding Ar shielding He shielding

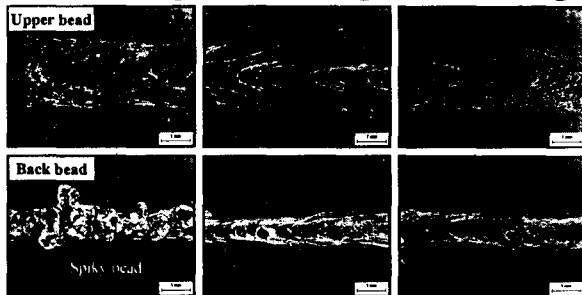


Fig. 1 Bead appearance of laser welded 5182-O alloy.

No.2 (2002) pp42~46 (in Korean)

Non-shielding Ar shielding He shielding



Fig. 2 Laser weld cross-sections of 5182-O alloy.

6. H. Zhao et al., "Current issues and problems in laser welding of automotive aluminum alloys", Int. Mat. Rev., Vol. 44, No. 6 (1999) pp 238-266

7. J. W. Yoon et al., " Effect of shielding gas on the laser weld properties of 6061 aluminum alloy", Proc. of KSLP, May 2003 pp 96-99 (in Korean)

8. J. W. Yoon et al., "Effect of filler wire composition on the solidification cracking of 6061 aluminum alloy laser welds", Proc. of KWS, Nov. 2003 pp 98~100 (in Korean)

Non-shielding Ar shielding He shielding

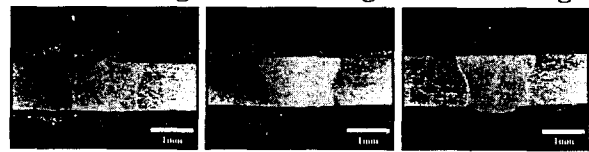


Fig. 4 Laser weld cross-sections of 6K31-T4 alloy.

Non-shielding Ar shielding He shielding

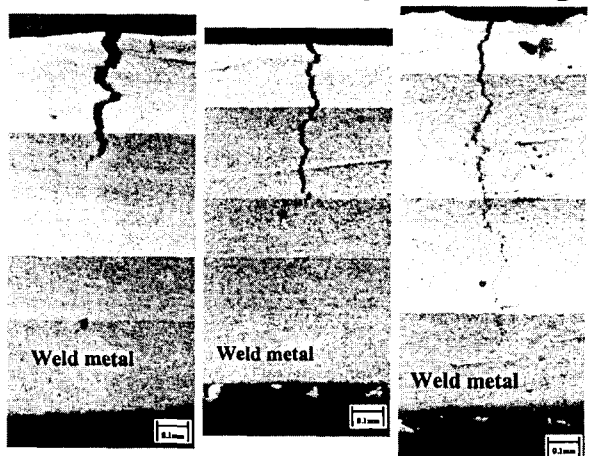
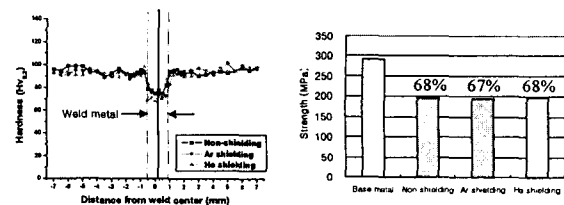
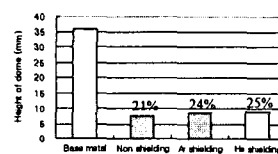


Fig. 5 Solidification cracking observed at the longitudinal-sections of 6K31-T4 alloy laser welds.



Vickers hardness

Ultimate tensile strength



Formability

Fig. 6 Mechanical properties of 6K31-T4 alloy laser welds.