2004년도 추계 학술발표대회 발표논문, 2004년 11월, 천안

Al-Mg-Si 합금 레이저 용접부 합금조성이 고온균열에 미치는 영향

Effect of alloying element on the solidification cracking of the Al-Mg-Si alloy laser welds

강 준일*, 윤 종원**, 이윤상***, 신 현일****, 박 현성***
* 동의대학교 대학원 신소재공학과
** 동의대학교 재료금속공학과
*** KISWEL Ltd
**** (주)기아자동차

1. 서 론

자동차 차체 경량화를 위해 기존의 강재에 비해 비중이 낮으면서 유사한 강도를 갖는 알루미늄 합금판재의 적용에 대한 연구가 활발하다[1, 2]. 알루미늄 합금 판재의 차체 적용시 용접이 불가피하게 필요하며, 용접속도가 빠르고, 용접변형이 적은 레이저 용접에 대한 연구가 진행되어 왔다. 본 연구에서는 연신율이 개선된 6K21 및 6K31 알루미늄 합금을 사용하여 Nd:YAG 레이저 용접성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 실험재료

실험에 사용된 알루미늄 합금모재의 화학적 조성과 두께를 Table 1에 제시하였으며, 6K21 알루미늄 합금과 6K31알루미늄 합금은 T4(고용처리하고 자연시효)처리된 상태이며 비교를 위해 사용된 6061은 T6(고용처리하고 인공시효)된 것을 사용하였다.

2.2 시편준비 및 레이저 용접

각 판재를 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100㎜×300㎜의 크기로 절단하였으며, 용접부의 길이는 250㎜로 하였고, 이음부는 기계가공 없이 I-square butt으로 준비하였다. 각 판재를 이음부 간격 없이 지그에 고정시키고 Table 2와 같은 용접조건으로 Nd:YAG 레이저를 사용하여 맞대기 용접하였다. Ar, He의 보호가스는 레이저 빔과 45°각도로 장착한 내경 4㎜의 구리튜브를 사용하여 공급하였다. 하부비드의 경우 용접선 아래를 따라 지그에 파인 홈을 통하여 Ar 또는 He 보호가스를 공급하였다.

2.3 Metallography

6K21-T4, 6K31-T4 및 6061-T6 알루미늄합금 레이저용접부의 용접금속 횡단면 및 상부비드를 채취하여 polishing후 Keller용액으로 에칭하여 용접결함 및 미세조직을 관찰하였다.

Alloy	Thick (㎜)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	others	Al
6K21-T4	1	1.05	0.11	0.00	0.07	0.60	0.02	0.01	0.02	0.01	Bal.
6K21-T4	2	0.99	0.15	0.01	0.07	0.54	0.01	0.01	0.01	0.01	Bal.
6K31-T4	1.2	0.98	0.17	0.84	0.07	0.33	0.02	0.02	0.01	-	Bal.
6061-T6	2	0.93	0.33	0.38	0.13	0.53	0.33	0.14	0.03	-	Bal.

Table 1 Chemical composition of aluminum alloys.

Alloy	Thick (mm)	Laser power (kW)	Shielding gas	Gas flow rate(ℓ/min)		Welding speed (m/min)
				Upper	Back	
6K21 -T4	1	4	-	-	-	6
			Ar	10	5	
			He	10	10	
6K21 -T4	2	4	-	-	-	5
			Ar	15	10	
			He	20	10	
6K31 -T4	1.2	4	-	-	-	9
			Ar	15	10	
			He	20	10	
6061 -T6	2	3	-	-	-	4
			Ar	15	10	
			He	40	10	

Table 2 Laser welding condition.

3. 결과 및 토의

3.1 합금의 조성이 고온균열에 미치는 영향

Fig. 1에서 보듯이 모든 Al-Mg-Si 알루미늄 합금의 레이저 용접부의 상부비드에서 균열이 관찰되었다. Table 1에 제시된 각 합금의 Mg 및 Si함유량을 기준으로 각 합금 용접금속중 존재하는 Mg_2Si와 잔류 Si량을 계산하여 Table 3에 보이고 있다. 또한 다른 연구자들이 보고한 합금원소함량에 따른 균열감수성변화를 Fig. 2에 제시하고 있다. Fig. 2(a)에서 보듯이 Si의 함량이 0.8wt%일때 균열 감수성이 최대이며, Fig. 2(b)에서는 Mg_2Si의 함량이 1wt%일때 균열감수성이 최대인 것을 알 수 있다. 따라서 조사된 6K21, 6K31 및 6061합금의 잔류 Si함량 및 Mg_2Si량을 Fig. 2의 결과와 비교하여 보면 6K21, 6K31 및 6061합금 모두 고온 균열이 발생될 것으로 사료 된다.

3.2 Shielding gas의 영향

보호가스 사용유무에 관계없이 모든 시편의 용접부에서 균열이 관찰되었다. 그러나 Ar과 He을 보호가스로 사용한 경우 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 고온균열 발생이 감소된 것을 Fig. 3에서 보여주고 있다. 이것은 Fig. 4 보듯이 보호가스를 사용한 용접에서는 표면 핵생성이 이루어지고 Equiaxed grain이 미세화 된다[3].

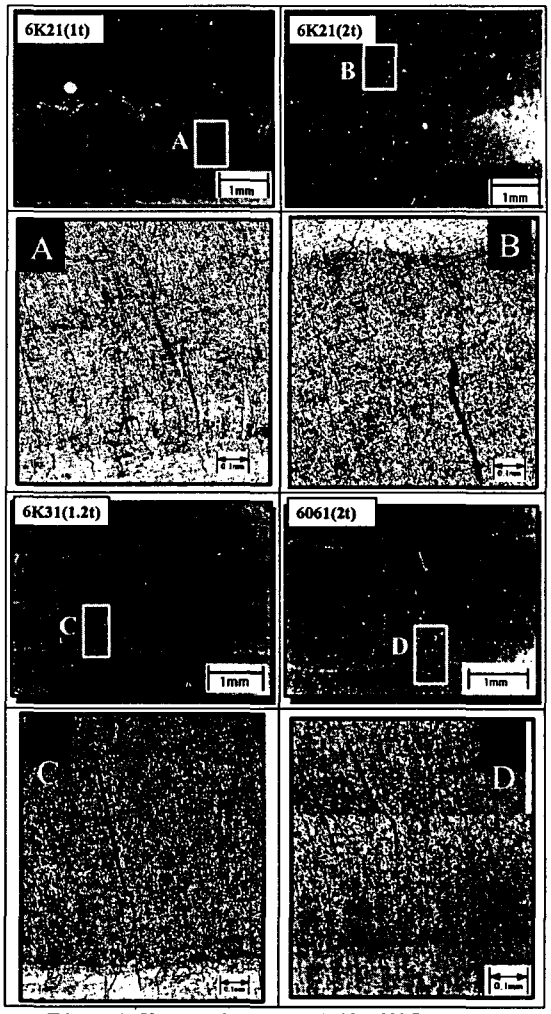

Fig. 1 Upper beads of Nd:YAG laser welds in the Al-Mg-Si aluminum alloys. (non shielding).

	Thick (mm)	Mg_2Si	Excess Si
6K21	1	0.95wt%	0.70wt%
6K21	2	0.85wt%	0.68wt%
6K31	1.2	0.54wt%	0.79wt%
6061	2	0.84wt%	0.62wt%

Table 3 Chemical composition of Al-alloys.

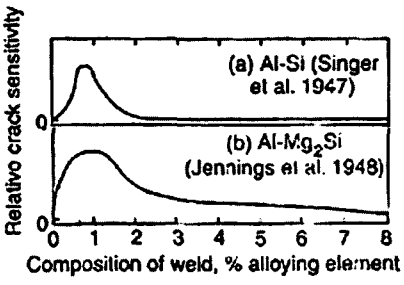

Fig. 2 Effect of composition on crack sensitivity of some aluminum alloys.

이렇게 미세화된 결정립은 국부적인 응력의 흡수가 조대한 결정립에 비해 우수해 고온균열을 억제하는 역할을 하게된다. 따라서 보호가스를 사용한 용접에서는 미세화된 결정립에 의해 균열이 감소되는 것으로 사료된다.

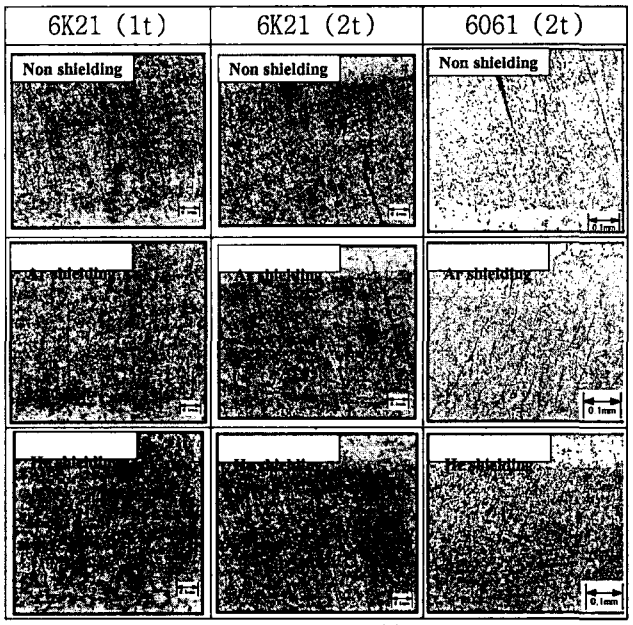

Fig. 3 Upper beads of Nd:YAG laser welds in the 6K21 and 6061 aluminum alloys.

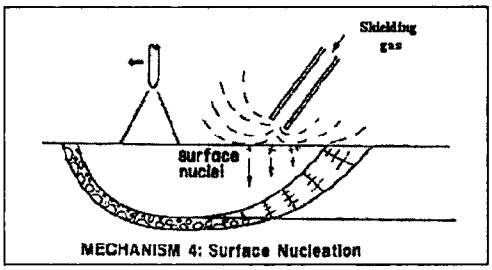

Fig. 4 Nucleation mechanisms during welding

3.3 두께의 영향

Fig. 5에 6K21합금판재의 두께가 각각 1㎜, 2㎜일 때, 용접보호가스 사용유무에 관계없이 1㎜두께의 경우보다 2㎜두께의 경우 용접금속중 균열이 큰 것을 관찰하였다. 이런 결과는 두께가 두꺼운 것의 용접부에서 냉각이 빨리 되고 이러한 이유로 용접시 발생하는 국부적인 응력에도 쉽게 고온균열의 형성되기 때문인 것으로 사료된다.

4. 결 론

조사된 상용 Al-Mg-Si 알루미늄 합금의 레이저

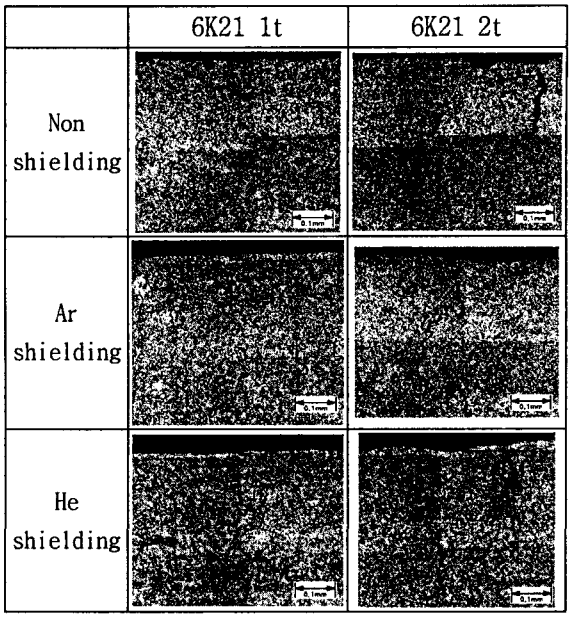

Fig. 5 Electrolysis etched longitudinal sections of 6K21(2t) aluminum alloy.

용접시 용접금속중 Mg_2Si와 Si의 함량이 고온균열감수성이 높은 영역에 있어 조산된 모든 알루미늄 합금 레이저 용접금속에서 균열이 발생하였다.

Ar, He을 보호가스를 사용한 경우 표면 핵생성에 의해 미세화된 등축정이 발달하여 국부응력 및 스트레인의 흡수가 용이하여 보호가스를 사용하지 않은 용접에 비해 균열이 감소하였다.

두께가 두꺼운 것보다 얇은 알루미늄 합금의 레이저 용접에서 균열의 크기가 작았다.

후기

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., 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. Sindo Kou, Welding Metallurgy (Second edition), A JOHN WILEY & SONS, pp 178~187, pp 272