

Al-Mg 합금 CO₂ 레이저 용접시 고온 균열 감수성에 관한 연구

Study on the Hot Crack Susceptibility of CO₂ Laser Welded Al-Mg Alloys

윤 종원

동의대학교 공과대학 신소재공학과

ABSTRACT

자기 구속 균열 시험법인 Tapered 시편 균열 시험법을 이용하여 Al-Mg 합금의 CW CO₂ 레이저 용접시 Mg 함량 변화에 따른 고온균열감수성 변화를 조사하였다. Mg 함량 1.9wt.%에서 최대균열감수성을 나타내고 있으며 이보다 Mg 함량이 증가하거나 감소하면 고온균열감수성이 감소한다. 용접금속 결정립 크기 또한 고온균열감수성과 관련이 있으며 Mg 함량이 증가할수록 결정립이 미세화되며, 1.9wt.%Mg 이상에서 결정립이 미세화될수록 고온균열감수성이 감소한다.

1. 서론

5000계열 Al-Mg 합금은 6000계열 Al-Mg-Si 합금에 비해 CO₂ 레이저 용접시 고온균열의 발생이 적은 것으로 알려져 있으며, CO₂ 레이저 용접시 고온균열감수성의 정량화 시험에서 1000계열 알루미늄에 비해 고온균열감수성이 높으나 6000계열 Al-Mg-Si 합금에 비해서 고온균열감수성이 낮은 것으로 보고되고 있다^{1,2)}. 한편 Al-Mg 합금 모재의 강도 및 연신율과 비교한 CO₂ 레이저 용접부의 강도 및 연신율 저하도 Al-Mg-Si 합금에 비해 현저하지 않은 것으로 보고되고 있어³⁾ Al-Mg 합금이 용접구조용재료로서 Al-Mg-Si 합금에 비해 유리한 측면이 있다. 본 연구에서는 Al-Mg 합금의 CO₂ 레이저 용접시 Mg 함량에 따른 Al-Mg 합금의 고온균열감수성의 변화를 조사하여 CO₂ 레이저 용접 적용을 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1 실험 재료 및 시편 준비

2 mm 두께의 Mg 함량이 0 wt.%에 가까운 1200 판재 및 Mg 함량이 다른 일련의 5000계열 Al-Mg 합금 판재 (5005, 5251, 5754, 5083) 를 사용하여 Mg 함량을 0에서 4.6 wt.% 범위에서 변화시켰다. 이 실험에서 사용한 알루미늄 합금의 조성을 Table 1에 표시하였다. 앞서의 연구²⁾에서 최적화된 Tapered 시편 균열시험법에 따라 길로틴 절단기를 이용하여 각 알루미늄 합금 판재로부터 Tapered 시편을 준비하였다.

2.2 Taperd 시편 균열 시험

Tapered 시편의 폭이 좁은 부위로부터 폭이 넓은 쪽을 향하여 시편 중심선을 따라 아래보기 자세에서 5 kW CO₂ 레이저 용접장치를 사용하여 melt-run 용접을 수행하였다. 이 때의 melt-run 용접 조건은 레이저 출력 5kW, 용접속도 6m/min이다. Melt-run 용접전 테이프를 사용하여 tapered 시편의 위치를 고정시켰으며 melt-run 용접시 tapered 시편에 가해지는 외부로부터의 구속을 최소한으로 하여 자기구속 (self-restraint)에 의해 균열이 발생하도록 유도하였다. 같은 용접 조건에서 3회 이상 시험을 반복하여 재현성을 확인하였다. Melt-run

용접이 완료된 후 비드 중심선을 따라 발생한 종균열의 길이를 dye penetration 방법에 의해 측정하고, 비드 총길이에 대한 종균열 길이의 백분율 (Percentage crack length, PCL)을 균열 감수성의 지수로 사용하였다.

2.3 종균열이 발생하는 용접금속 중심부 응고조직 관찰 및 입도 측정

Mg 함량에 따른 Al-Mg 합금 용접금속 중심부에서의 결정립 크기와 고온균열감수성과의 상관관계를 조사하였다. 종균열이 발생, 전파되는 weld center line 에서의 평균 결정입도를 결정하기 위해 weld center line 중 균열이 전파되지 않은 구역에서 용접 단면을 채취하여 마운팅, 연마, 전해폴리싱한 후 편광 현미경을 이용하여 용접금속 중심부의 단면사진을 찍고, 이를 Image analyser를 이용하여 각 알루미늄 합금 용접금속 중심부의 결정립 평균 크기를 측정하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 Mg 함량에 따른 Al-Mg 합금 CO₂ 레이저 용접부의 고온균열감수성의 변화

Tapered 시편에 외부 구속을 가하지 않은 상태에서 CO₂ 레이저를 이용하여 Tapered 시편의 폭이 좁은 부분으로부터 시편 중심선을 따라 melt-run 용접하였을 때 melt-run 용접 개시부위에서부터 자생적으로 발생한 종균열은 비드 중심선을 따라 전파한다. 이 종균열은 중도에 자발적으로 닫히게 되어 균열 전파가 끝나게 되며 종균열 전파길이는 Al-Mg 합금의 Mg 함량에 따라 변화하였다.

Al-Mg 합금의 Mg 함량이 0에서 4.6wt.%로 증가함에 따라 Tapered 시편 균열시험시 균열 감수성은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 1.9wt.% Mg (5251 합금)에서 최대균열감수성을 나타내고 있다. Mg 함량이 1.9wt.%으로부터 증가하거나 감소할수록 고온균열감수성이 점차 감소하였다. Al-Mg합금 CO₂ 레이저 용접시 고온균열감수성 거동은 Al-Mg 합금의 주조 및 아크 용접시 여러 연구자들에⁴⁵⁾ 의해 보고된 고온균열감수성 거동과 유사하나, 구속균열 시험법에서 보고된 최대고온균열감수성을 나타내는 Mg 함량 범위와는 매우 다른 것으로 조사되었다.

3.2 결정립도와 고온균열 감수성

각 Al-Mg 합금 CO₂ 레이저 용접금속 단면을 관찰하면 용접금속 중심부에는 등축 결정립이 발달하였음을 확인할 수 있다. Al-Mg 합금의 Mg 함량이 증가할수록 등축 결정립 구역이 증가하고 등축결정립 크기가 더 미세화되는 것을 확인할 수 있다. Tapered 시편 균열시험시 발생한 종균열은 이 등축 결정립이 발달한 용접금속 중심부를 따라 발생, 전파하므로 고온 균열 감수성이 결정립 크기와 관계있는 것으로 고찰된다.

Mg 함량 변화에 따른 Al-Mg 합금 CO₂ 레이저 용접부 center-line 부위의 결정립도와 고온 균열감수성과의 관계를 Fig. 2에 보이고 있다. Mg 함량이 증가함에 따라 CO₂ 레이저 용접부의 결정립도가 감소하며, 결정립도가 감소함에 따라 고온균열감수성이 감소함을 확인하였다 (pure grade 알루미늄은 예외). 이것은 Dudas 등⁶⁾이 보고한 바와 같이 미세 결정립은 조대한 결정립에 비해 국부적인 변형을 용이하게 완충할 수 있어 균열감수성을 낮출 수 있다는 주장을 뒷받침하는 것으로 보인다.

그러나 Mg 함량 1.9wt.%이하 영역에서의 결정립도와 고온균열감수성간의 관계가 1.9wt%Mg 이상의 영역에서 관찰된 것과 반대의 거동을 나타내는데, 0-1.9wt.%Mg 영역에서는 고온균열감수성에 영향을 주는 여러 인자중 결정립도보다 크게 영향을 미치는 인자가 있는 것으로 추정된다.

4. 결론

가. Al-Mg 합금 CO₂ 레이저 용접부의 고온 균열 감수성은 Mg 함량과 직접적인 관련이 있으며 Mg이 1.9wt.% 함유된 5251합금의 고온균열감수성이 가장 높다. Mg 함량이 1.9wt.%에서 증가 또는 감소하면 고온균열감수성이 감소한다.

나. 결정립도 또한 고온균열감수성과 관련이 있으며 Mg 함량이 증가하여 결정립도가 감소할수록 고온균열감수성이 감소한다.

참고문헌

1. Yoon J W , "Solidification crack susceptibility of laser welded aluminium alloys (I)", Proc. of National Conf of the Korean Welding Society, 27-28 May (1999) Seoul, pp274-277
2. Yoon J W , "알루미늄 합금 레이저 용접시 고온균열 감수성의 정량화", Proc. of National Conf of the Korean Welding Society, 28-29 Oct. (1999) Taejon, pp198-201
3. Jones et al., " CO₂ laser welding of 5000 series aluminium alloys - updates", Report of TWI, Oct., (1992)
4. Pumphrey et al., "Cracking during the casting and welding of the more common binary aluminium alloys", J. Inst. of Metals, Vol. 74 (1948) pp439-455.
5. Dowd, "Weld cracking of aluminium alloys", Welding Journal, Vol. 31, No. 10 (1952) pp448s-456s.
6. Dudas et al., "Preventing weld cracking high strength aluminium alloys", Welding Journal, Vol. 45, No. 6 (1966) pp241s-249s.

Alloy (batch)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti
1200	0.06	0.27	<0.01	<0.01	<0.02	<0.01	0.01	0.01
5005	0.05	0.37	0.04	0.05	0.77	<0.01	<0.01	-
5251(1)	0.05	0.16	<0.01	0.23	1.91	<0.01	0.04	-
5251(2)	0.14	0.36	0.03	0.25	2.19	0.02	0.05	-
5754(1)	0.06	0.16	<0.01	0.24	3.06	<0.01	<0.01	-
5754(2)	0.06	0.16	<0.01	0.24	3.07	<0.01	0.07	-
5083(1)	0.14	0.29	0.02	0.63	4.46	0.05	0.01	-
5083(2)	0.14	0.30	0.02	0.63	4.54	0.05	0.03	-

Table 1 Nominal chemical compositions (in wt.%) of aluminium alloys used (balance aluminium).

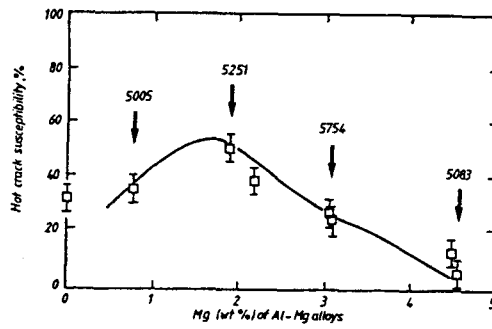


Fig. 1 Solidification crack susceptibility of CW CO₂ welds in 2mm thick Al-Mg alloys.

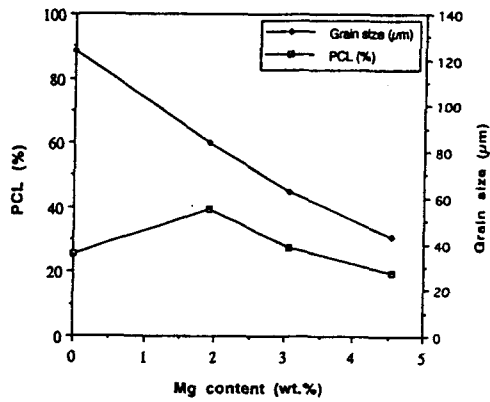


Fig. 2 Solidification crack susceptibility and grain size with Mg content of Al-Mg alloy laser welds.