

2519 알루미늄 합금 마찰교반접합부의 미세조직 및 기계적 특성에 미치는 Sc의 영향평가

The effect of Sc addition on the joint properties of Friction Stir Welded 2519 Al alloy

이 창용*, 이 원배*, 박태원**, 김홍진***, 연 윤모****, 장 응성*****, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 국방과학연구소

*** (주)두산인프라코어 생산기술팀

**** 수원과학대학 자동화시스템과

***** 포항산업과학 연구원

1. 서 론

알루미늄(Al)은 가볍고 내식성·내가공성이 좋으며 전기 및 열의 전도도가 높고 색깔도 아름다워서 현재 지구상에서 철(Fe) 다음으로 많이 이용되고 있다. 또한 Cu, Mg, Si, Zn, Mn, Ni 등의 원소를 넣어 만든 고강도 알루미늄 합금 또는 내식성 알루미늄 합금은 기계적 성질이 순 알루미늄 보다 높아서 각 방면의 용도가 다양하다. 알루미늄합금의 주요 강화요인으로는 미세 석출상에 의한 석출강화효과를 들 수가 있는데, 각 합금에서 첨가원소에 따라 Al₂Cu, MgZn₂ 등 다양한 강화상이 존재한다. 이러한 강화상은 온도에 따라 그 형태나 크기 혹은 존재의 유무가 변화하고 그에 따라 재료 전체가 가지는 기계적 특성도 변하게 된다. 따라서 알루미늄합금의 적용분야를 더욱더 확대하기 위해서는 접합 등 부가적인 공정이 상기 석출상들의 변화로 인한 기계적 성질 저하를 유발하지 않는 상태에서 진행되어야 한다. 하지만 현재 알루미늄 합금은 용융접합법에 의해 주로 접합되고 있고, 그에 따라 미세석출물의 상실, 응고조직 형성, 내부기공 발생 및 외부형태 변형 등 많은 문제들이 야기되고 있어 거시적인 관점에서 볼 때 접합부가 하나의 결함으로 간주되는 상황이다.

1991년 마찰교반접합(FSW, Friction Stir Welding)이 영국 TWI에 의해 개발되어 특허가 출원된 후, 액상 상태가 아닌 고상 상태에서 접합이 진행됨으로서 이전의 용융 용접기술이 갖고 있는 문제점을 해결해 줄 수 있는 기술로 평가되고 있다. 또한 이 FSW는 매우 낮은 에너지 소모와 유해가스를 발생하지 않는다는 점에서 현대사회의 요구에도 부합한다고 볼 수 있다.

현재까지 국내 및 국외의 연구 결과에 의하면 Al-Mg, 및 Al-Li 합금에서 미량의 스칸듐(Sc) 첨가로 재료의 입자 미세화 및 결정성장 억제 그로 인한 기계적 특성 향상이 가능하다고 보고 되고 있다. 또한 Al-Cu 합금에 대해서도 스칸듐 원소 첨가가 미치는 재료특성 변화에 대한 연구결과가 간혹 보고 되고 있으나 아직 명확하지 않은 상태이고 또한 이들은 모두 재료 자체의 특성에 국한된 내용으로 접합 후 접합부의 특성변화에 관한 연구는 거의 전무한 상황이다.

본 연구에서는 Al-Cu 계 합금인 2519 Al 합금과 미량의 스칸듐(Sc)을 첨가한 2519 합금에 대해 각각 마찰교반접합을 실시하고 접합 변수에 따라 모재 및 접합부의 미세조직 및 기계적 특성 변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 Al 2519 합금이고 Sc의 영향 평가를 위해 사용된 재료는 동일한 합금에 0.014 wt% 의 스칸듐이 첨가된 합금이다. Table 1에 Al 2519 합금의 화학 조성표를 나타내었다.

Table. 1. The chemical composition of 2519 Al alloy

Elements	Cu	Mn	Mg	Zr
wt%	5.6	0.24	0.14	0.12
Elements	V	Ti	Al	
wt%	0.12	0.035	Bal.	

재료는 70mm × 140 mm의 크기, 4mm 두께의 판재로 가공되었으며, 용접속도를 87mm/min.으로 고정시킨 후 톨 회전속도를 변화시키면서 접합을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 자세한 변수를 아래의 Table 2에 나타내었다. 접합을 위해 사용된 톨의 직경은 10mm, 핀의 직경은 4mm이다.

Table 2. Experimental Conditions

Variable	Range
Tool to work piece (°)	3
Tool rotating speed (rpm)	800,1250,1600,
Pin inserting depth (mm)	3.92 ~ 3.95
Plate travel speed (mm/min.)	87

접합 후 광학현미경(OM:Optical Microscope)과 주사전자현미경 (SEM: Scanning Electron Microscope), 투과전자현미경 (TEM: Transmission Electron Microscope)을 사용하여 모재와 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 용접부 내의 상 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy)를 사용하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합 시편 단면의 경도를 측정하였다. 이 때 하중은 100gf, 측정시간은 10초로 하였다. 또한 접합부의 인장특성을 측정하고자 일축인장시험을 실시하였다. 시편은 KS13B에 의해 준비되었고, cross head speed는 1mm/min.으로 하였다.

3. 실험 결과

Fig. 1 과 2에 Al 2519 합금과 스칸듐이 첨가된 Al 2519 합금을 마찰교반접합 한 후 단면의 마

크로 조직사진과 접합부 각 영역의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 결과를 나타내었다. 톨 회전속도 800 및 1250 rpm 에서와는 달리 1600 rpm에서 공통적으로 접합 결함이 발생하였고, 결함의 크기도 유사하였다. Fig.1-b, Fig.2-b에서 확인할 수 있듯이 두 재료의 모재는 확연히 다른 결정립형태를 가지고 있었다. Al 2519 합금의 경우 장방형의 결정립이 관찰되었고, 스칸듐이 첨가된 Al2519의 경우 결정립의 가로 : 세로 비가 훨씬 큰 가공조직이 관찰되었다. 이러한 결정립의 형태는 다른 연구자들에 의해 이미 보도된 바와 같이 스칸듐이 결정립의 성장을 억제하였기 때문으로 사료된다. 이와 같은 차이점은 열영향부(HAZ: Heat Affected Zone, Fig 1-c, Fig 2-c)에서도 유사하게 관찰되었다.

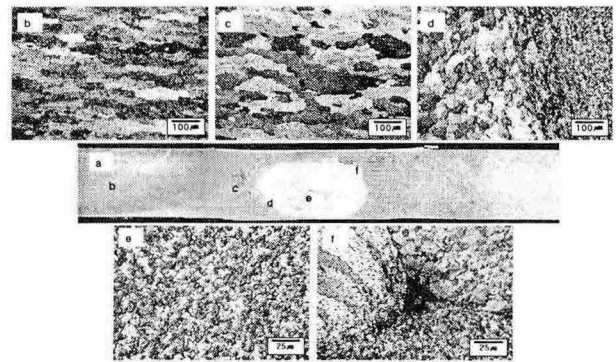


Fig. 1 Microstructures of FSWelded 2519 Al alloy at the tool rotation speed of 1600rpm a) transverse cross section b) base metal c) HAZ d) TMAZ e) SZ f) welding void

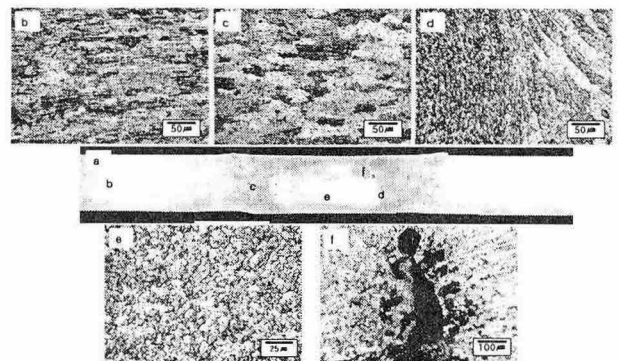


Fig. 2 Microstructures of FSWelded 2519 Al alloy (Sc added) at the tool rotation speed of 1600rpm a) transverse cross section b) base metal c) HAZ d) TMAZ e) SZ f) welding void

Fig. 3과 4에 두 재료의 마찰교반접합부의 경도 시험결과를 나타내었다. 스칸듐이 첨가된 합금의 경우가 첨가되지 않은 합금에 비해 약 20Hv 정도 높은 경도값을 나타내었다. 이것은 광학 현미경 미세조직에서 관찰된 결정립의 형태와 밀접한 연관이 있는 것으로 사료된다. 또한 두 재료에서 공통적으로 접합부의 경도값이 모재보다 상승한 것을 관찰할 수 있었다. 이것은 마찰교반접합시 발생한 마찰열에 의해 접합부에서 고용되었던 미세 석출물들이 냉각과정 동안 재석출되었기 때문으로 사료되고, 접합부에서의 상승폭이 스칸듐이 첨가된 합금의 경우에서 미세하게 높은 것으로 보아 스칸듐 화합물이 Al-Cu 합금에서 미세 석출물의 발생을 증가시키는 것으로 사료된다.

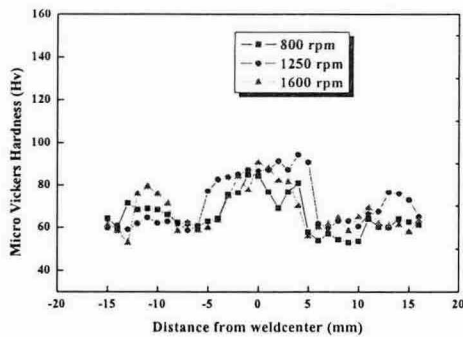


Fig. 3 Hardness distribution with tool rotating speed of Al2519 alloy

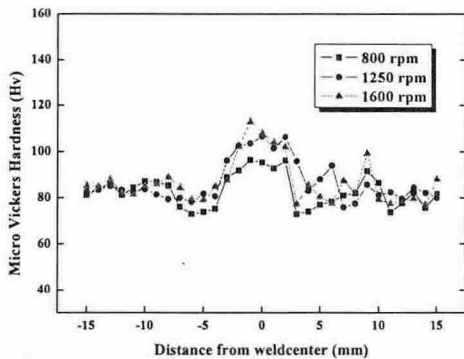


Fig. 4 Hardness distribution with tool rotating speed of Al2519 alloy (Sc added)

4. 결 론

2519 Al 합금과 미량의 스칸듐(Sc)이 첨가된 2519 Al 합금의 마찰교반접합을 실시하고 미세

조직 관찰 및 기계적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 모재의 결정립 형태 비교 결과 스칸듐이 첨가된 Al 2519 합금이 좀 더 aspect ratio가 큰 침상에 가까운 형태로 관찰되었으며, 이것은 경도값에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료된다.
- 2) 경도시험 결과 두 재료에서 공통적으로 접합부의 경도값이 모재에 비해 상승하였고, 이것은 마찰교반접합 후 냉각하는 동안 미세석출물의 재석출에 기인한 결과로 사료된다.
- 3) 인장시험 결과 두 재료에서 공통적으로 용접 결합이 없는 800, 1250 rpm에서 약 300MPa의 최대인장강도가 얻어졌고, 이 값은 모재 강도값의 약 95%에 해당하는 값이다. 또한 두 재료에서 공통적으로 접합부가 아닌 열영향부에서 파단이 발생하였다.
- 4) 미세한 스칸듐 첨가는 모재의 결정립 형상 및 크기와 경도값에는 영향을 미치지 않지만 인장강도에는 영향을 미치지 않는 것으로 사료되고, Al2519 합금의 마찰교반접합부에 미치는 Sc의 영향은 첨가량을 높인 합금에 관한 추가실험을 통하여 명확해질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

1. C.G.Rhodes, M.W.Mahoney, W.H.Bingel : Effects of friction stir welding on microstructure of 7075 aluminum, Scripta Materialia, 36-1 (1997) 69-75
2. J.Q.Su, T.W.Nelson, R.Mishra, M.Mahoney : Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium, Acta materialia, vol.51 (2003) 713-729
3. W.B.Lee, Y.M.Yeon and S.B.Jung : Evaluation of the microstructure and mechanical properties of friction stir welded 6005 aluminum alloy, Material Science and Technology, vol.19 (2003) 1513-1518
4. W.B.Lee, Y.M.Yeon and S.B.Jung : The mechanical properties related to the dominant microstructure in the weld zone of dissimilar formed Al alloy joints by friction stir welding, Journal of materials science, vol 38 (2003) 4183-4191