

## 스칸듐(Sc) 함량이 다른 2519 알루미늄 합금 마찰교반접합부의 미세조직 및 기계적 특성

### Microstructures and mechanical properties with the different Sc content of AA2519 FSW joint

이 창용\*, 최 돈현\*, 표 성은\*, 연 윤모\*\*, 정 승부\*

\* 성균관대학교 신소재공학부

\*\* 수원과학대학 신소재응용과

**ABSTRACT** The microstructures and mechanical properties with the different Sc content of AA2519 FSW joint were investigated in this study. The sound FSW joints were obtained under applied all welding conditions such as the Sc content and the tool rotation speed. The grain size of the stir zone decreased slightly with increasing the Sc content. And the ultimate tensile strength increased and elongation decreased with increasing the Sc content. The intermetallic compound contained the Sc is considered to bring out the improvement of mechanical property in FSW joint.

## 1. 서 론

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 탁월한 기술로 평가되고 있다. 또한 FSW는 매우 낮은 에너지 소모와 유해가스를 발생하지 않는다는 점에서 현대사회의 요구에도 부합한다고 볼 수 있다.[1]

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 석출 강화 효과를 들 수가 있는데, 각 합금에서 첨가원소에 따라  $Al_2Cu$ ,  $MgZn_2$  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 적용 분야를 더욱더 확대하기 위해서는 접합 등 부가

적인 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.[2-3]

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.[4]

본 연구에서는 Al-Cu 계 합금인 2519 Al 합금과 스칸듐(Sc) 함량을 달리 첨가한 두 가지 2519 합금에 대해 각각 마찰교반접합을 실시하고 접합 변수에 따라 모재 및 접합부의 미세조직 및 기계적 특성변화를 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 Al 2519 합금이고 Sc의 영향 평가를 위해 사용된 재료는 동일한 합금에 0.136, 0.194 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 툴 회전속도를 변화시키면서 접합을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 자세한 변수를 아래의 Table 2에 나타내었다. 접합을 위해 사용된 툴의 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 접합시편 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

2519 알루미늄 합금의 마찰교반 접합은 본 연구에 적용된 두 가지 변수 조건에서 모두 양호한 결과를 나타냈다. Fig. 1은 접합 후 외관을 스칸듐 함량에 따라 나타낸 결과이다. 외관 결함이 전혀 발생하지 않았고, 버(burr)의 발생도 극히 미세한 것으로 나타났다. 접합부의 단면 관찰결과 육안으로 식별 가능한 결함(void)은 존재하지 않았다.

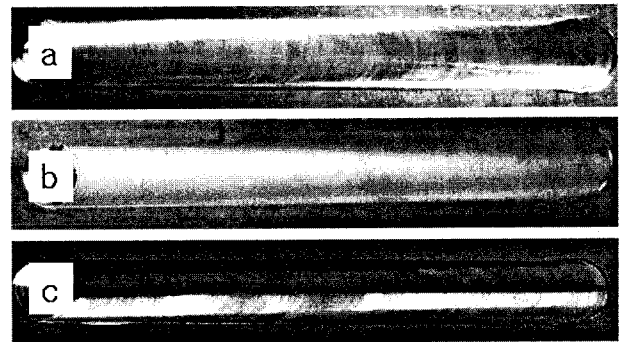


Fig. 1 External shapes FSWelded 2519 Al alloy at the tool rotation speed of 1250rpm a) No Sc addition, b) 0.136 Sc addition and c) 0.194 Sc addition

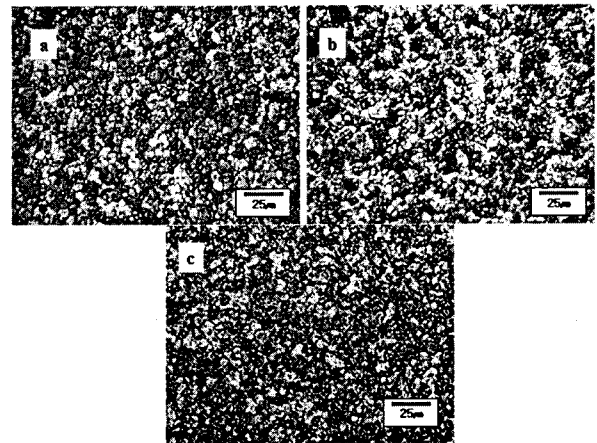


Fig. 2 Stir zone microstructures of FSWelded 2519 Al alloy at the tool rotation speed of 1600rpm a) No Sc addition, b) 0.136 Sc addition and c) 0.194 Sc addition

Fig. 2는 동일한 툴 회전속도로 접합한 접합부의 교반영역 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 조직 사진이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 스칸듐 함량이 증가함에 따라 결정립 크기가 미세

하게 감소하였다. 이것은 스칸듐을 포함한 화합물, 즉  $Al_3Sc$ 의 생성에 의한 결과로 추정된다. 이것은 고온에서 안정한 화합물로서 마찰교반접합 시 재결정 발생 후 결정립 성장을 억제하는 효과를 나타내는 것으로 사료된다.

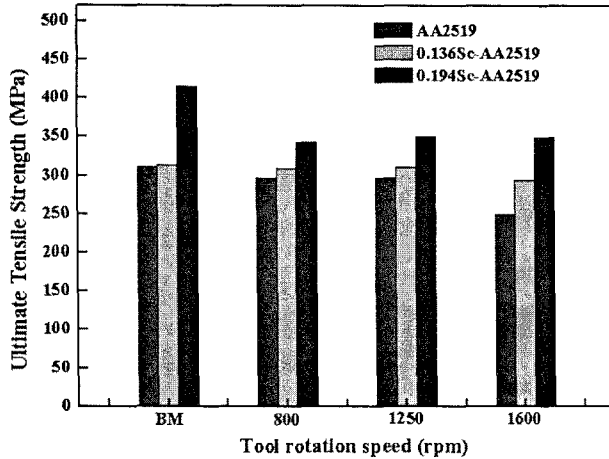


Fig. 3 Ultimate tensile strength variation of AA2519 FSW joints with the Sc content and tool rotation speed

접합부의 기계적 특성을 인장시험으로 평가하였다. 모재에 Sc 첨가량이 증가함에 따라 인장강도가 증가하는 것을 확인하였고, 이러한 경향은 마찰교반접합 후 접합부에서도 공통적으로 관찰되었다. 미세 조직에서 관찰된 결정립 크기 변화와 밀접한 관련이 있을 것으로 사료된다. 또한 인장 강도는 접합 시 80~90%까지 감소하는 결과를 나타냈다. 접합 변수인 톨 회전속도는 접합부 강도 변화에 특별한 영향을 미치지 않은 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

2519 Al 합금과 미량의 스칸듐(Sc)이 첨가된 두 가지 2519 Al 합금의 마찰교반접합을 실시하고 미세조직 관찰 및 기계적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 접합부 외관 및 단면의 마크로 조직 관찰 결과 스칸듐 첨가유무 및 첨가량에 무관하게 양호한 마찰교반접합이 이루어졌다. 또한 본 실험에 접합 변수로 적용된 톨 회전 속도도 접합 유무에는 영향을 미치지 않은 것으로 확인되었다.

2) 교반영역(stir zone)의 미세조직 관찰결과 스칸듐 함량이 증가함에 따라 미세하게나마 결정립 크기가 감소하는 확인할 수 있었다.

3) 외관상 모두 양호한 접합 결과를 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.

4) 인장 시험 결과 스칸듐 함량이 증가함에 따라 최대 인장 강도가 확연하게 증가하는 결과가 나타났다. 이것은 미량 첨가된 스칸듐에 의한 고온 안정형 화합물의 존재가 결정립 성장 억제 효과를 야기시켰기 때문으로 사료된다.

#### 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