

Scandium이 함유된 7055 알루미늄 합금의 마찰교반용접 특성

Joint properties of Friction Stir Welded 7055 Al alloy (Sc)

김 선규*, 이 창용*, 이 원배*, 연 윤모**, 장 응성***, 이 성희****, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

*** 포항산업과학 연구원

**** 목포대학교 신소재공학과

1. 서 론

기존의 Al 합금의 접합에는 MIG(Metal Inert Gas)나 TIG(Tungsten Inert Gas)와 같은 접합이 주로 이용되어 왔으나, 접합부의 표면문제, 변형, 결함 등으로 인하여 Al 합금의 구조물 적용에 큰 문제점이 야기되어 왔다. 따라서 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.

Al합금 중에서 Al-Zn-Mg를 주원소로 하는 7xxx계는 다른 계열의 Al합금보다 높은 강도를 나타냄으로서 우주항공재료, 항공기, 구조재, 스포츠용품 등으로 사용되고 있다.

본 연구에서는 미량의 Scandium이 첨가된 7055-T6 Al합금을 사용하여 FSW를 실시하고, 틀의 회전 속도에 따라 모재와 접합부 각 영역의 결정립, 석출물, 전위밀도 등이 기계적 강도에 미치는 영향을 다양한 분석기기를 사용하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 연구에 사용된 7055 Al합금의 화학적 조성은 Table. 1과 같다.

Table. 1. The chemical composition of 7055 Al alloy

Elements	Zn	Mg	Cu	Fe
wt%	7.503	1.900	1.913	0.093
Elements	Cr	Si	Sc	Al
wt%	0.034	0.040	0.09	Remainder

7055Al 합금을 140mm×70mm×4mm의 판재로 가공한 후 판재의 이송 속도는 127mm/min으로 고정하고 틀의 회전속도를 500, 800, 1250, 1600, 2500rpm으로 변경시키면서 맞대기 접합을 실시하였다. 마찰교반접합을 실시한 7055 Al 합금의 기계적 특성과 미세조직과의 관계를 알아보기 위해 접합부에 수직인 방향으로 약 30mm를 절단한 후 미세조직 및 경도시험 시편을 제작하였다.

2.2 미세조직 관찰 및 기계적 특성 평가

연마 후에 증류수 150ml, 질산 3ml, 불산 6ml와, 염산 6ml의 혼합용액을 사용하여 에칭(etching)을 실시하였다. 광학현미경(OM, Optical Microscopy)과 SEM(Scanning Electron Microscopy)을 사용하여 미세조직을 관찰하였고,

상의 성분 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectrometer)가 사용되었다. 기계적 특성 평가에서는 경도 측정 시 마이크로 비커스 경도기를 사용하였으며, 이때 하중은 100gf, 시간은 10sec로 정하였다. 또한 접합부의 인장시험은 시편은 KS13B에 의해 준비되었고, cross head speed는 1mm/min으로 하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

용접방향과 수직하게 시편을 제작한 후 에칭하고 광학현미경으로 관찰한 결과 Fig.1과 같이 크게 모재부와 용접 중심부인 SZ(Stir Zone)으로 구분할 수 있으며, SZ에는 틀이 지나간 자리인 nugget이 선명하게 보이며, 형상은 틀의 회전속도가 높아질수록 틀의 삽입방향과 수직인 방향으로 넓게 퍼지는 것도 관찰되었다.

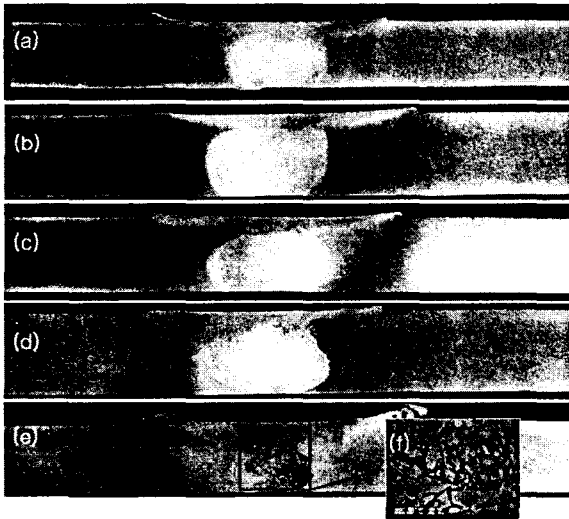


Fig. 1. Macro image near the weld zone of 7055 Al. ((a) 500rpm (b) 800rpm (c) 1200rpm (d) 1600rpm (e) 2500rpm (f) defect of 2500 rpm)

또한, 틀의 회전 속도가 높은 2500rpm에서는 결함(defect)들이 육안으로도 관찰될 정도로 SZ의 전부분에 분포하였다.

Fig.2는 접합부를 크게 네 부분으로 나누고 각 부분의 미세조직을 관찰한 것이다. 접합부의 중심이자 직접 열영향부인 SZ, 틀의 회전에 의한 간접적인 열영향부인 TMAZ(Thermo-Mechanically Affected zone)와 HAZ(Heat Affected Zone), 모재부가 서로 다른 형태의 조직을 가지고 있는데, 모재부에서는 시편 제작시 압연한 방향에 따라 연

신된 조직이 관찰되었고, SZ에서는 틀의 회전과 마찰열에 의해 재결정이 발생된 것을 알 수 있다.

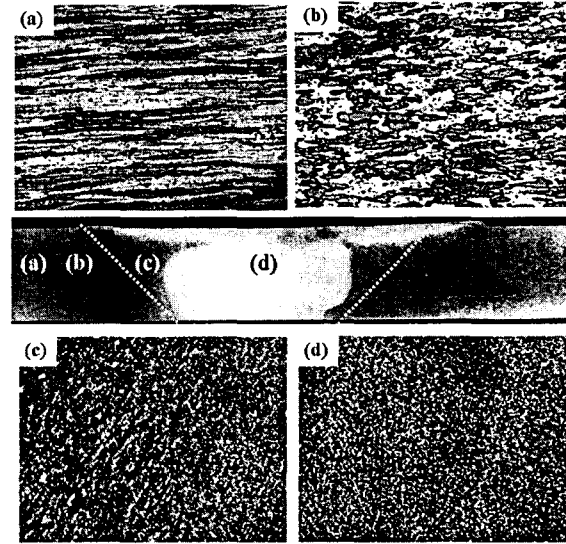


Fig. 2. Microstructure of FS weld joint at the tool rotation speed of 800rpm and travel speed of 127mm/min ((a)base metal (b)HAZ (c)TMAZ (d)SZ)

또한 HAZ와 TMAZ는 틀의 회전에 따른 간접적인 영향부에 속하는 부분으로서 특히 TMAZ에서는 틀의 회전방향으로 연신된 조직도 확인할 수 있다.

이러한 조직들을 더 자세히 관찰하기 위해 투과전자 현미경을 이용하였다. Fig.3은 모재와 SZ의 TEM 이미지로서 가공시 발생한 많은 전위(dislocation)들이 결정립(grain) 내부와 결정립계(grain boundary)에 존재하고 있으며, 결정립은 SZ에 비하여 조대했다. 이에 비해 SZ의 결정립은 등축정이었고, dislocation 또한 모재에 비해 적거나 결정립계에 소량 존재하고 있었다.



Fig. 3 TEM micrographs feature of FS welded 7055 Al. ((a) Base Metal, (b) SZ)

접합부의 기계적 강도를 시험하기 위해 Fig.4와 같이 비커스 경도를 측정하였고, 2500rpm은 마크로 조직에서 관찰되었던 결함으로 인해 측정이 불가능하였다.

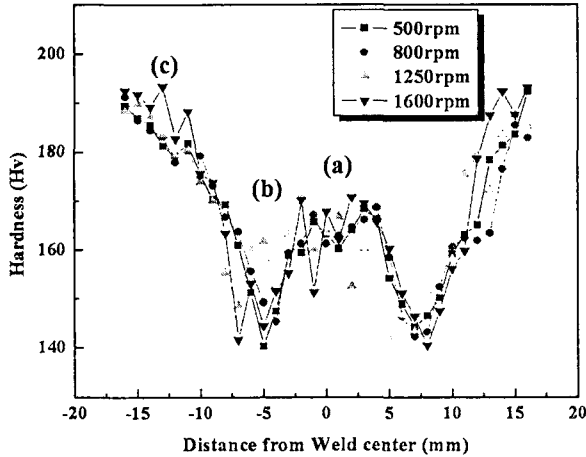


Fig. 4. The hardness distribution of near the weld zone of 7055 Al.
((a) SZ (b) HAZ (c) Base metal)

모재와 접합부 각 영역에서 경도는 다르게 측정되었다. SZ에서는 톨의 교반과 마찰열로 인한 재결정과 Al-Zn-Mg계의 석출물 때문에 HAZ보다는 높게 측정되었지만, 초기 시편 제작시의 압연에 의한 모재 조직의 경도보다는 낮은 경도를 보였다. HAZ에서 낮은 경도를 보인 것은 모재의 압연 시 생성된 전위들이 열의 간접 영향으로 결정립계에 소수만 존재하며, 결정립의 재결정에는 도달하지 못한 것에 기인한 것으로 사료된다. 그리고 톨의 회전 속도에 따른 경도의 변화는 크지 않은 것을 관찰할 수 있었다.

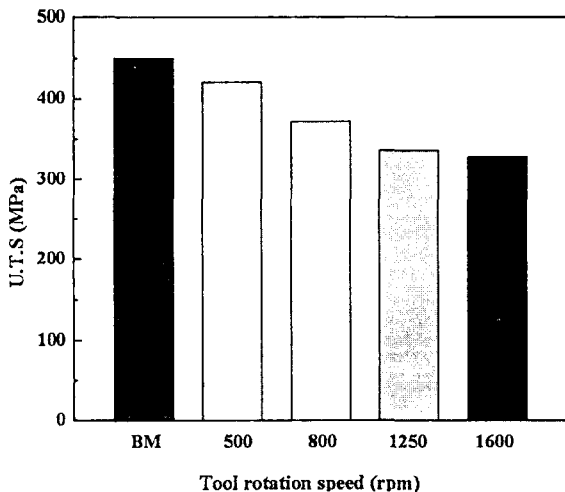


Fig. 5. Tensile strength property of FSWelded 7055 Al.

그러나, 인장강도(Ultimate Tensile Strength) 평가에서는 Fig.5와 같이 톨의 회전속도가 높아질수록 인장강도가 낮아지는 경향을 보였으며, 가장 낮은 톨 회전수인 500rpm에서 모재와 근사한 인장강도가 측정되었다.

4. 결 론

7055 Al 합금의 마찰교반접합을 실시한 후 접합부의 미세조직과 기계적 특성을 관찰하여 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 접합부는 톨의 기계적 교반과 마찰열의 영향 정도에 따라 SZ, HAZ, TMAZ로 나누어지며, 각 부분마다 서로 다른 미세 조직을 나타냈다.
- 2) 접합이 진행됨에 따라 모재의 압연조직상태에서 결정립 조대화, 연신, 동적 재결정 현상 등이 HAZ, TMAZ, SZ에서 각각 관찰되었고, 이러한 현상은 소성 변형, 전위의 이동, 석출물의 생성과 고용 등의 종합적인 결과로 사료된다.
- 3) 접합부의 경도는 HAZ에서 가장 낮게 측정되었으며, 톨의 회전 속도는 경도에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 사료된다.
- 4) 인장 강도는 톨의 회전 속도와 반비례하였으며, 파단면은 retreating side에서 발생하였다.

참고문헌

1. J.Q.Su, T.W.Nelson, R.Mishra, M.Mahoney : Microstructural investigation of friction stir welded 7050-T651 aluminium, Acta Materialia, vol51 (2003) 713-729
2. W.B.Lee, Y.M.Teon 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
3. C.G.Rhodes, M.W.Mahoney, W.H.Bingel, M.Calabrese : Fine-grain evolution in friction-stir processed 7050 aluminium, Scripta Materialia 48 (2003) 1451-1455
4. R.W. Fonda*, J.F. Bingert, K.J. Colligan : Development of grain structure during friction stir welding, Scripta Materialia 51 (2004) 243.248