

마찰교반접합을 이용한 원통 파이프 제작용 2219 알루미늄 합금의 접합

Friction Stir Welding of 2219 Al alloy for cylindrical pipe

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

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

*** 포항산업과학 연구원

**** 목포대학교 신소재공학과

1. 서 론

현재 알루미늄 합금은 지구상에서 철(Fe)에 이어 두 번째로 사용량이 많은 금속으로서, 특히 무게에 비한 강도, 즉 비강도가 높아서 기존에 철(Fe)계 합금이 주로 사용되던 구조재 분야로 그 적용분야가 확장되고 있다. 알루미늄합금의 주요 강화요인으로는 미세 석출상에 의한 석출강화효과를 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 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, 응고 조직 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 평가되

고 있다. 또한 이 FSW는 매우 낮은 에너지 소모와 유해가스를 발생하지 않는다는 점에서 현대 사회의 요구에도 부합한다고 볼 수 있다.

2219 Al합금은 Al과 Cu를 주 원소로 하는 대표적인 가공재 알루미늄 합금으로서 고온 및 저온에서의 기계적 특성이 우수하여 내열특성이 요구되는 분야 즉, 자동차 엔진 부품이나 로켓의 액체연료 탱크재료 등에 사용되고 있다.

대형 원통파이프 형태의 우주선 연료 탱크 제작을 위한 초기 실험의 일환으로 본 연구에서는 2219-T87 Al 합금을 이용하여 마찰교반접합을 실시하였다. 용접속도를 87mm/min.으로 고정시킨 후 틀 회전속도를 500, 800, 1250, 1600rpm으로 변화시켜 접합을 실시하였고, 틀의 회전 속도에 따라 모재와 접합부 각 영역의 결정립, 석출상, 전위밀도 등이 기계적 강도에 미치는 영향에 대하여 다양한 분석기기를 사용하여 조사하였다.

2. 실험방법

2.1 시편제작

본 연구에 사용된 7055 Al합금의 화학적 조성은 Table. 1과 같다. 또한 접합과정을 간략하게 묘사한 모식도를 Fig. 1에 나타내었다. 2219 Al 합금을 140mm×70mm×4.55mm의 판재로 가공한 후 재료의 가공방향과 평행한 방향으로 1차 접합을 실시하였다. 이때 용접속도는 87mm/min, 틀

Table. 1. The chemical composition of 2219 Al alloy

Elements	Cu	Mn	V	Ti
wt%	6.0	0.25	0.1	0.04
Elements	Fe	Si	Mg	Al
wt%	0.1	0.06	0.01	Bal.

의 회전속도는 1250 rpm으로 하였다. 일차 접합이 끝난 후 Fig. 1과 같이 접합방향과 수직하게 시편을 절단한 후 재료의 가공방향과 수직인 방향으로 이차접합을 실시하였다. 이때 용접속도는 87mm/min. 으로 고정하였고, 틀의 회전속도는 800, 1250, 1600rpm으로 변화시키면서 접합을 실시하였다.

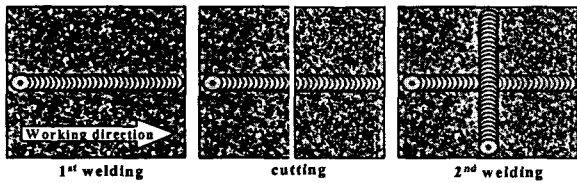


Fig. 1 The schematic of welding procedure

2.2 미세조직 관찰 및 기계적 특성 평가

2차접합이 끝난 2219 Al 합금에서 틀이 중복하여 지나간 접합부의 기계적 특성과 미세조직과의 관계를 알아보기 위해 2차 접합방향과 수직인 방향으로 약 30mm를 절단한 후 미세조직 및 경도시험 시편을 제작하였다.

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

Fig. 2는 접합 후 2차 접합 방향과 수직하게 시편을 절단한 후 단면을 관찰한 마크로 조직이다.

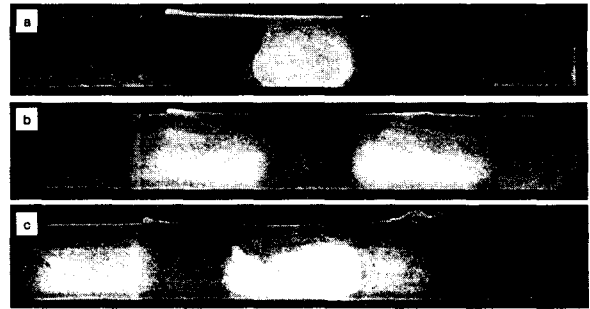


Fig. 2 Macro image near the weld zone of FSWed 2219 Al a) 800rpm, b) 1250rpm, c) 1600rpm

그림에서 보이는 바와 같이 중심부에 weld nugget 이 존재하고 절단 전 접합부 표면에서와 마찬가지로 결합은 존재하지 않았다. 접합부의 외부, 즉 모재는 1차 접합부의 SZ(Stir Zone)로서 접합 시 틀이 지나간 흔적인 onion ring 이 관찰되었고, Fig. 2-c의 1600rpm의 경우는 weld nugget 이 미세하게 찌그러진 형태로 관찰되었다.

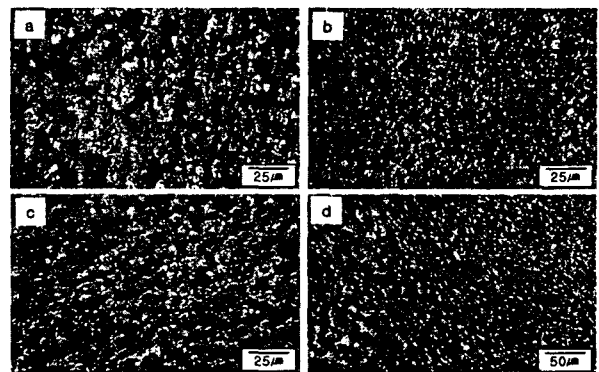


Fig. 3. Microstructure of FSWed joint at the tool rotation speed of 800rpm and travel speed of 87mm/min (a)base metal (b)SZ (c)HAZ (d)TMAZ

Fig. 3은 접합부 각 영역을 광학현미경으로 관찰한 미세조직이다. 모재(BM:Base Metal, a)에서는 세로 방향으로 onion ring 이 관찰되었고, 약 5~10µm의 크기를 가진 상하로 연신된 듯한 결정립들이 존재하였다. 이것은 1차 접합 시 SZ의 미세조직과는 미세하게 달랐는데 이것은 절단면이 서로 다르기 때문으로 추정된다. SZ(b)에서는 10µm이하의 모재에 비해 더욱 미세한 결정립들이 관찰되었는데, 이것은 2차접합 동안에 발생한 기계적 교반현상과 마찰열에 의한 동적 재결정의

결과로 사료된다. 열 영향부 (HAZ : Heat Affected Zone, c)에서는 모재에 비해 접합시 발생한 마찰열의 영향을 받은 영역으로서 결정립들이 등축형 형태로 변화하였으며, 크기도 미세하게 증가한 것을 관찰할 수 있었다. 열 및 기계적 영향부 (TMAZ : Thermal and Mechanical Affected Zone, d)에서는 틀의 회전방향을 따라 심하게 연신된 결정립들이 관찰 되었다. 또한 틀 회전속도가 증가할수록 SZ의 결정립 크기도 미세하게 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다.

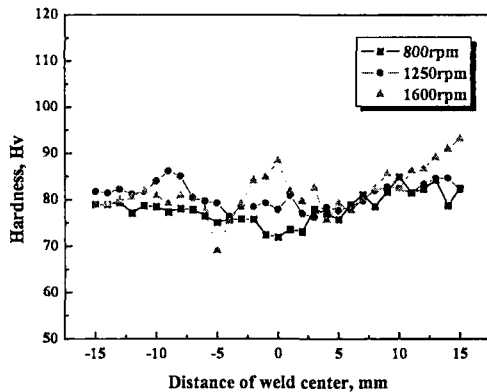


Fig. 4. The hardness distribution of near the weld zone of 7055 Al.
(a) SZ (b) HAZ (c) Base metal)

접합부의 기계적 특성을 평가하기 위해 비커스 경도시험, 인장시험을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 4와 5에 나타내었다. 비커스 경도시험결과 틀회전속도에 따른 확연한 경도차이는 관찰되지 않았으며, 접합부의 경도값과 모재의 경도값도 큰 차이를 보이지 않았다. 이것은 Al 2219 합금의 기계적 성질이 결정립크기 보다는 재료 내부에 존재하는 미세 석출물에 의해 변화하기 때문이고, 추가적으로 자세한 분석이 요구되는 부분이긴 하지만, 접합시 발생한 높은 마찰열에 의해 재료 내부에 존재하던 Al₂Cu 석출상이 변화되었기 때문으로 사료된다. 모재에 비해 급격하게 감소하였고, 틀 회전속도에 따른 변화는 관찰되지 않았다. 인장 시험 후 측정된 최대인장강도 (UTS : Ultimate Tensile Strength)와 연신율 (Elongation)을 Fig. 5에 나타내었다. 인장시험은 1차 접합 방향과 수직하게 2차 접합의 접합부 내에서 채취하였다. 틀 회전속도 1250rpm 의 경우에서 약 270MPa로 가장 높은 결과가 얻어졌

나 다른 조건과의 차이는 근소하였다. 또한 연신율도 1250 rpm에서 15.47%로 가장 높은 결과를 나타냈다.

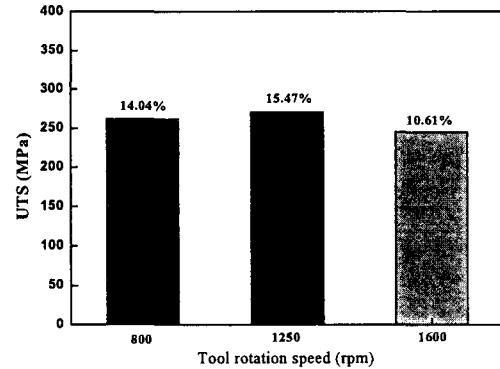


Fig. 5. The results of tensile test

4. 결 론

2219 Al 합금의 마찰교반접합을 실시한 후 증복 교반 영역의 미세조직과 기계적 특성을 관찰하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 접합부는 틀의 기계적 교반과 마찰열의 영향 정도에 따라 SZ, HAZ, TMAZ로 나누어지며, 각 부분의 미세조직은 미세하게 변화하였다.
- 2) 접합이 진행됨에 따라 결정립 조대화, 연신, 동적 재결정 현상 등이 HAZ, TMAZ, SZ에서 각각 관찰되었다.
- 3) 결정립크기가 HAZ, 모재, SZ 순으로 감소하였으나 경도결과와는 일치하지 않은 점으로 보아 미세석출물에 의한 강화효과가 주요 강화요인을 알 수 있었다.
- 4) 인장 시험 결과 틀의 회전 속도에 따라 확연한 값의 차이는 발생하지 않았고, 1250rpm에서 최대인장강도와 연신율 모두 근소하게나마 가장 높은 값을 얻을 수 있었다.

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. 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