

7075 알루미늄 합금의 마찰교반용접특성

The joints properties of Friction Stir Welded Al 7075 alloy

이창용*, 김선규*, 이원배*, 장웅성***, 연윤모**, 정승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

*** 포항산업과학연구원 (RIST)

1. 서 론

FSW공정은 특수하게 설계된 용접툴(tool)을 특정한 회전수로 회전시키면서 용접하고자하는 재료의 용접라인에 삽입하여 용접에 필요한 마찰열과 소성변형을 발생시키고, 그 후 용접라인을 따라 툴을 이동시킴으로써 용접이 이루어지는 매우 간단한 공정이다. 고도로 발달한 현대사회는 기존에 중시해오던 것들과는 달리 새로운 많은 과제를 현대의 과학과 산업에 부여하게 되었는데, 자원고갈에 대비한 새로운 에너지 개발과 에너지 절약이 가능한 새로운 재료의 개발 혹은 인간의 건강을 위한 환경문제 등이 그 대표적인 예라 할 수 있을 것이다. FSW는 매우 낮은 에너지 소모와 유해가스가 발생하지 않는다는 점에서 이러한 현대사회의 요구와 잘 부합된 공정이라 할 수 있을 것이다. 또한 알루미늄 합금의 우수한 비강도는 구조재로 사용하기에 매우 적합하며 우주항공분야나 육상 혹은 수상 운송 수단과 관련된 산업분야에서 효율적인 에너지 절약효과를 기대할 수 있을 것이다. 따라서 FSW를 이용한 다양한 알루미늄 합금의 접합에 관한 연구는 반드시 필요한 실정이다.

Al-Zn-Mg를 주원소로 하는 70계 합금은 현재 실용되고 있는 Al 합금중 최고의 강도를 지닌다. 7075합금은 여기에 소량의 Cu가 첨가되면서 더욱 더 강도를 높이는 효과를 얻을 수 있게 되었고, 항공기 용재나 스포츠용구 등의 높은 비강도가 요구되는 분야에 사용되며, 초초두랄루민 이라고도 한다.

본 연구에서는 고강도 7075 알루미늄 합금을 FSW 방식으로 접합하였다. 툴 회전속도에 따라 결정립, 석출상, 전위밀도 등 다양한 요소의 변화를 살펴보고, 이것들이 기계적 성질에 미치는 영향을 다양한 분석기기를 통하여 조사하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 7075Al합금의 조성을 다음의 Table 1.에 나타내었다. 재료는 70mm × 140mm의 크기, 4mm 두께의 판재로 가공되었으며, 용접속도를 127mm/min.으로 고정시킨 후 툴 회전속도를 변화시키면서 접합을 실시하였다. 본 실험에서 사용된 자세한 변수를 아래의 Table 2.에 나타내었다. 접합을 위해 사용된 툴의 직경은 10mm, 핀의 직경은 4mm이다.

Table 1. Chemical composition of Al 7075 alloy

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
7075 Al alloy	0.14	0.14	1.58	0.02	2.53	0.2	5.41	0.03	Bal.

접합 후 광학현미경(OM:Optical Microscope)과 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Microscope)을 사용하여 모재와 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 조직관찰용 시편은 용접부의 단면을 연마한 후 증류수(distilled water) 150ml, 질산

Table 2. Experimental Conditions

Variable	Range
Tool to work piece (°)	3
Tool rotating speed (rpm)	340,500,800,1250, 1600, 2500,3600
Pin inserting depth (mm)	3.92 ~ 3.95
Plate travel speed (mm/min.)	127

(nitric acid) 3ml, 불산(fluoric acid) 6ml, 염산(hydro-chloric acid) 6ml를 혼합한 용액에 약 3분간 에칭(etching)되었다. 용접부 내의 상 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 및 EPMA(Electron Probe Micro Analyser)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. 결과

Fig. 1에 시편을 용접방향과 수직한 방향으로 절단하여 그 단면의 마크로조직을 나타내었다. 500(fig.1-a), 800rpm(fig.1-b)의 경우 SZ(Stir Zone)와 TMAZ(Thermal Mechanical Affected Zone)의 경계에 육안으로도 관찰이 가능한 미세한 결합이 관찰 되었다. 톨의 회전속도가 증가함에 따라 결합의 크기는 작아졌고, 1250rpm(fig.1-c)와 1600rpm(fig.1-d)에서는 결합이 관찰되지 않았다. 한편, 톨 회전속도가 증가함에 따라 SZ의 단면적이 미세하게 감소하는 경향을 관찰할 수 있었다.

Fig. 2는 tool 회전속도 800rpm으로 접합된 시편의 영역별 미세조직이다. 접합 시 발생한 마찰열과 소성유동에 의해 동적 재결정이 발생하여 SZ(Fig.2-d)의 결정립이 매우 미세한 것으로 사료된다. 이러한 결과는 경도 시험의 결과에도 영향을 미치는 것으로 나타났다. SZ 내부에는 kissing bond로 보이는 흰색 띠가 존재했는데(Fig.2-f), EDS 분석결과 다른 부분에 비해 알루미늄의 함량이 높았고, 인장시험시 파단면의 형성과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다. TMAZ(Fig.2-b)는 톨의 회전에 의한 소성유동 방향을 따라서 연신된 결정립들을 확인할 수 있었

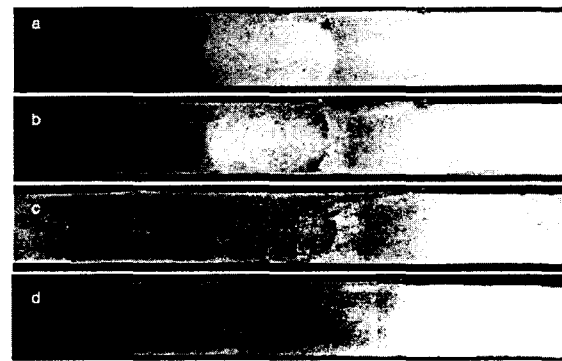


Fig. 1 Cross-sectioned structures of the joints with tool rotating speed a)500rpm, b)800rpm, c)1250rpm, d)1600rpm

다. 모재(Fig.2-a)와 HAZ(Fig.2-c)에서는 압연방향을 따라서 연신된 조직이 관찰되었고, 열 영향에 의해 HAZ의 결정립이 모재보다 조대하였다.

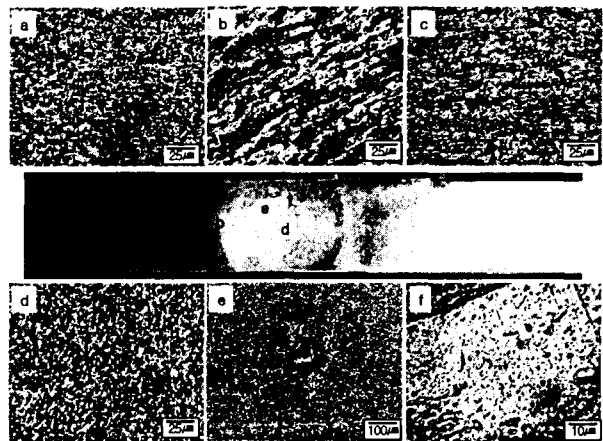


Fig. 2 Microstructures of FSWelded joint at the tool rotating speed of 800rpm a) BM b)TMAZ c) HAZ d) SZ e) micro defect in the SZ f) kissing bond in the SZ

접합부의 미세조직과 기계적 강도와와의 관계를 알아보기 위해 Micro Vickers Hardness를 측정하였다. Fig.3에서 확인할 수 있듯이 모재에 비해 SZ의 경도가 약간 높게 측정되었으며, 그 경계 부분(TMAZ)에서 비교적 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 70계 알루미늄 합금은 석출경화형 합금이고, 이러한 석출경화형 합금들은 온도가 올라감에 따라 석출물들이 기지로 고용되어 강화상이 감소하게 되고, 이런 현상은 강도저하의 원인이 될 수 있다. 따라서 SZ의 경도가 낮을 것으로 예측할 수 있지만, 본 실험의 결과와

는 달랐다. 이것은 SZ에서 재석출이 발생한 것에 기인한 것으로 사료되며, 투과전자 현미경 등에 의한 미세분석이 추가적으로 필요한 부분으로 사료된다. 틀 회전속도가 증가함에 따라 경도 값이 미세하게 증가하였고, 이것은 입자미세화에 의한 강화효과와 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.

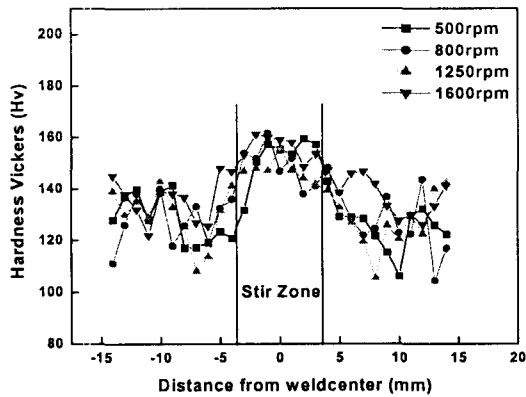


Fig. 3 Hardness distribution with tool rotating speed

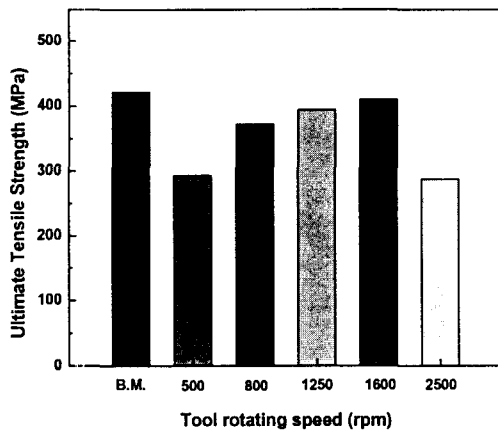


Fig. 4 UTS variation with tool rotating speed

Fig. 4에 용접속도에 따른 인장시험 결과를 나타내었다. 틀 회전속도가 증가함에 따라 최대인장강도도 증가하는 경향을 나타냈고, 1600rpm에서 가장 높은 410MPa의 값이 측정되었다. 이는 모재의 최대 인장강도의 약 95% 이상에 해당하는 값으로 완벽한 접합이 이루어 졌음을 의미하는 것이다. 틀 회전속도 500, 800 rpm의 경우 마이크로 조직에서 관찰되었던 결함에 의해 낮은 인

장강도 값을 나타낸 것으로 사료되고, 3600rpm에서는 측정이 불가능할 정도의 결함이 존재하였다. 파단면은 공통적으로 TMAZ 부위였고, 미세하게 연신이 관찰되었으나 그 비율은 모두 5%를 넘지 않은 것으로 측정되었다.

4. 결 론

제한된 조건에서 7075-T6 알루미늄합금을 이용하여 마찰교반접합을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 틀 회전 속도 500, 800, 3600rpm에서 접합한 시편은 육안으로 관찰이 가능한 결함이 존재하였고, 이것은 최대인장강도에 큰 영향을 미친 것으로 사료된다.
- 2) 미세조직 관찰결과 SZ에서는 동적재결정이 발생하였고, kissing bond로 예측되는 흰색의 띠가 관찰되었으며 이것은 인장시험 시 파단면의 생성과 밀접한 관련이 있는 것으로 사료된다.
- 3) 경도 시험결과 스티어존의 경도값은 모재에 비해 높았는데 이것은 강화상들의 재석출에 기인한 것으로 사료된다. 용접속도가 증가함에 따라 평균 경도값이 아주 미세하게 증가하는 경향을 나타내었다.
- 4) 인장시험 결과 틀 회전속도 1600rpm에서 접합된 시편이 가장 높은 410MPa의 최대인장강도를 나타냈고, 이것은 모재의 95%이상에 해당하는 값으로 최적의 접합조건임을 의미한다.

참고문헌

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