

## 2519 알루미늄 합금 마찰교반접합부의 이면 마찰교반프로세스 특성 평가

### Study on Friction stir process of friction stir welded aluminum alloy 2519

최돈현\*, 이창용\*, 표정은\*, 연윤모\*\*, 정승부\*

\* 성균관대학교 신소재 공학부

\*\* 수원과학대학 신소재응용과

#### 1. 서 론

마찰교반접합(Friction stir welding:FSW)은 영국 TWI에서 개발된 이래 금속재료의 새로운 고상접합법으로 알루미늄 및 마그네슘 등에서 많은 연구가 되어왔다. 이러한 마찰교반접합에서 파생된 마찰교반프로세스(Friction Stir Processing)는 ECAP(equal Channel Angular Pressing), HPT(High-Pressure Torsion) 등과 같은 종래의 소성가공법처럼 재료에 소성변형을 부여할 수 있다. [1]

마찰교반프로세스의 원리는 마찰교반접합과 유사하나 차이점이 있다면 접합이 아니라 가공이라는 점이다. 회전하는 톨이 재료내부에 삽입되면 톨과 재료사이에서 발생하는 마찰열에 의하여 온도가 상승하게 되어 재료는 연화되고, 이러한 재료 내부에서 회전하는 톨이 이동하게 되면 재료 내부는 기계적 교반에 의해 소성변형을 일으키고 재결정이 일어나 결정립 미세화가 이루어지게 된다.[2,3]

이러한 소성가공법인 마찰교반프로세스는 재료 특성상 열처리가 어려웠던 재료에 대한 적용이 가능하며, 회전하는 톨이 재료 내부에서 기계적 교반을 일으켜 주조결함 등의 문제를 해결 할 수 있으며 결정립 미세화에 의한 강도 및 연성의 증

가 또한 재료내 석출강화상 등을 미세하게 분쇄 및 재배열하여 효과적인 분산강화 효과 등을 나타낼 수 있다.[2,3]

본 실험에서 사용한 재료는 두께 약 4mm의 AA2519 (5.84Cu-0.35Mn-0.14Mg-0.13Zr-0.10Fe wt.%)로 첨가된 구리가 고용강화를 상당히 일으키며 또한 적당한 열처리를 통해 석출물(CuAl<sub>2</sub>)을 형성하여 강도를 증가시킨다. 2519 알루미늄 합금은 다른 알루미늄 합금에 비해 높은 강도를 나타내며 고온에서의 특성이 좋고 용접성이 좋아 처음에는 군사용으로 사용이 되어왔으며 현재는 민간 항공기 및 수송기 등에 많이 적용이 되고 있는 재료이다.

이번 실험에서는 마찰교반접합된 AA2519 알루미늄의 접합부 이면에 마찰교반프로세스를 실시하여 접합부와 소성가공된 접합부의 미세조직 및 기계적 특성을 비교 분석하였다.

#### 2. 실험 방법

먼저 회전속도 1250rpm, 이동속도 127mm/min에서 맞대기 접합을 실시 한 후 접합부 이면에 회전속도 800rpm~2500rpm, 이동속도 127mm/min으로 마찰교반프로세스(Friction Stir Process)를 실시하였다. 실험에서 사용된 톨은

SKD11 공구강으로 솔더의 직경은 15mm, 핀 직경은 5mm 이며 틀의 전진각은 3도로 하였다. 접합부의 미세조직 분석을 위하여 먼저 접합부를 컷팅 후 경면 연마를 실시하였고 에칭은 켈러용액을 사용하였다. 광학현미경과 SEM으로 각 조건에서의 접합부 미세조직을 분석하였고, 인장시험 및 연신을 측정 등을 통하여 기계적 특성평가를 실시하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 미세조직 분석

##### 3.1.1 광학 현미경 분석

Fig.1 에 마찰교반접합된 시편과 접합 후 마찰교반프로세스된 시편의 단면 마크로 사진을 나타내었다. 마찰교반프로세스 시편들은 마찰교반접합 시편의 onion ring과 반대의 모습을 나타내었으며 모든 조건에서 외관상 결합은 보이지 않았다. 그리고 마찰교반프로세스 시편에서는 틀의 회전속도가 빨라짐에 따라 onion ring의 생성위치가 시편의 중앙으로 위치하는 것을 볼 수 있었다.

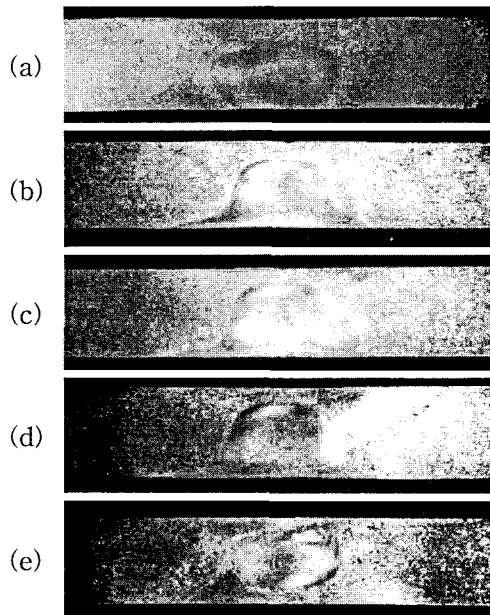


Fig. 1 Optical macrostructure of a cross section (a) only FSW-1250rpm (b) FSP -800rpm (c) FSP-1250rpm (d) FSP-1600rpm (e) FSP-2500rpm

Fig.2 는 마찰교반접합된 시편과 회전속도 1250rpm으로 마찰교반프로세스된 시편의 SZ와

BM의 광학 마이크로 사진을 나타내었다.

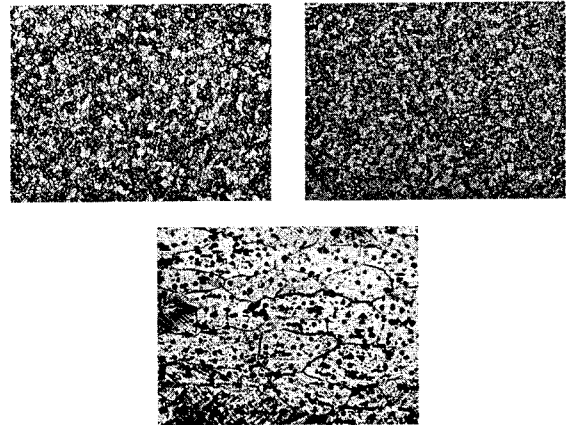


Fig. 2 Optical Microstructure of SZ and Base metal : (a) only FSW (b) FSP after FSW (1250rpm) (c) Base metal

우선 두 조건에서의 SZ부분은 모재 결정립보다 매우 작게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 하지만 마찰교반프로세스 시편의 SZ(Stir Zone) 영역 결정립이 FSW 시편의 SZ 결정립보다 작게 나타난 것이 관찰되나 그 차이는 크지 않은 것으로 나타나고 있다. 결정립의 미세한 크기 차이는 접합시 재결정된 결정립이 FSP에 의해 다시 재결정이 일어나 작아진 것으로 생각이 된다.[3]

##### 3.12. SEM을 통한 미세조직 및 석출물 분석

Fig.3은 각 조건에서 SZ의 SEM 사진을 나타내었다.

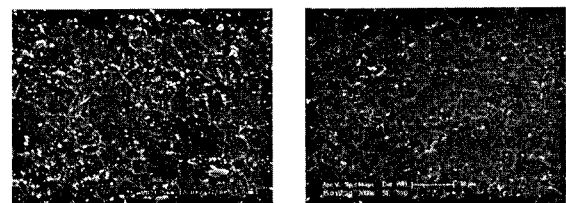


Fig.3 SEM image of SZ : (a) only FSW (b) FSP after FSW (1250rpm)

마찰교반프로세스 시편의 SZ에서 상대적으로 미세한 결정립들이 관찰되었으며 석출물은 마찰교반접합된 시편의 SZ에서 더 많이 나타났다. 이러한 이유는 마찰교반프로세스의 마찰열에 의하여 석출물이 재고용된 것으로 생각이 된다.[3] EDS 분석결과 석출물은  $CuAl_2$  로 나타났다.

### 3.2 인장시험 및 연신율 측정

마찰교반접합된 시편과 마찰교반프로세스된 시편의 인장시험 및 연신율 측정 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 전체적으로 마찰교반프로세스 시편에서의 인장강도 값이 마찰교반접합 시편보다 낮게 나타났으며, 이러한 이유는 마찰열에 의한 석출물의 재고용에 의한 것으로 생각이 된다. 회전속도 800rpm의 경우에는 교반부족으로 인하여 제일 낮은 강도값을 나타내며 회전속도 1250rpm에서 가장 높은 강도값을 나타내었다. 이후 회전속도가 증가함에 따라 강도값이 점차 낮아지는 경향을 보이는데 이것은 마찰열의 증가로 인한 석출물의 고용 증가 및 결정립 성장이 원인으로 생각이 된다. [3,4]

연신율 측정 결과 회전속도 1250rpm과 1600rpm에서 마찰교반접합시보다 높은 연신율을 나타내었다. 이러한 결과로 보았을 때 접합 후 마찰교반프로세스가 인장강도는 낮아지나 연신율의 증가 효과를 나타내는 것을 알 수 있었다.

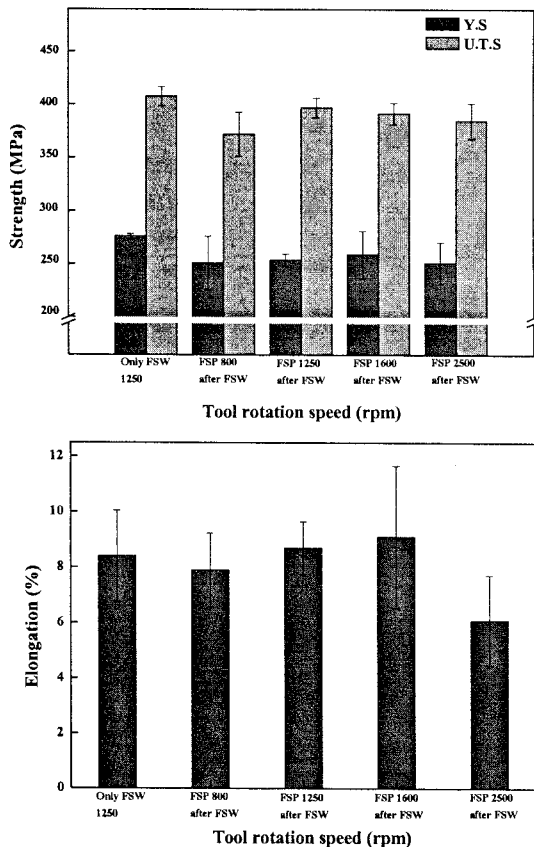


Fig4. Tensile test & Mesasurement of Elongation

### 4. 결 론

마찰교반프로세스를 이용한 마찰교반접합 접합부 이면의 소성가공을 통하여 미세조직 및 기계적 특성을 평가하였고 그 연구결과는 아래와 같다.

1) 마찰교반프로세스 결과 외관상 결함이 없었으며 onion ring은 마찰교반접합시와 반대로 생성이 되었으며 회전속도가 증가함에 따라 점차 접합부 중심으로 위치하였다.

2) 미세조직 분석결과 마찰교반프로세스에 의해 마찰교반접합시 재결정되었던 결정립들은 다시 재결정이 되었으나 결정립의 크기 차이는 크지 않았다. SZ내에서 석출물은 마찰교반접합시보다 적게 나타났는데 그 이유는 가공시의 마찰열에 의한 석출물의 재고용으로 생각이 된다.

3) 인장시험 및 연신율 측정결과 마찰교반프로세스 후 인장강도 값은 낮게 나타났으나 연신율은 증가하였다. 이러한 이유는 석출물 및 결정립의 크기에 기인한 것으로 생각이 된다.

### 참 고 문 헌

1. Georgy J. Raab, Ruslan Z. Valiev, Terry C. Lowe and Yuntian T. Zhu : Mater. Sci. Eng. A382(2004), 30-34
2. Suk Hoon Kang, Hee-Suk Chung, Heung Nam Han, Kyu Hwan Oh, Chang Gil Lee and Sung-Joon Kim : Scripta Materialia. A57(2007), 17-20
3. Yeon-Mo Yeon, Won-Bae Lee, and Seung-Boo Jung : Journal of KWS, 19-6(2001), 584-590
4. K. Elangovan and V. Balasubramanian : Mater. Sci. Eng. A459(2007) 7-18