

# 접합시편의 고정위치에 따른 이종 알루미늄 합금의 마찰교반접합부특성

## Joint characteristics of dissimilar formed Al alloys with fixed location of welded specimen by friction stir welding

이 원배\*, 김 중웅\*, 연 윤모\*\*, 정 승부\*

\* 성균관 대학교 신소재 공학과

\*\* 수원 과학대 자동화시스템과

**ABSTRACT** The weld zone of dissimilar formed Al alloy exhibited the complex structure of the two materials and mainly composed of the retreating side material. The mechanical properties were also depended on the dominant microstructure of the weld zone with welding conditions. The different mechanical properties of weld zone with welding conditions were related to the behavior of the precipitates of wrought Al alloy and Si particles of cast Al alloy. The higher mechanical properties of weld were acquired when relatively harder material, wrought Al alloy, was fixed at the retreating side.

### 1. 서 론

마찰교반용접법은 소정의 회전수로 회전하는 용접툴을 접합하고자하는 두 판재를 맞댄면에 삽입시킨 후 툴이 이동하거나 시편을 견고하게 고정시킨 장치가 움직여 고상 상태에서 접합이 이루어진다. 따라서 툴이 회전하는 방향과 시편의 이동방향에 따라 접합부 각각의 위치를 Fig.1과 같이 분류할 수 있다.

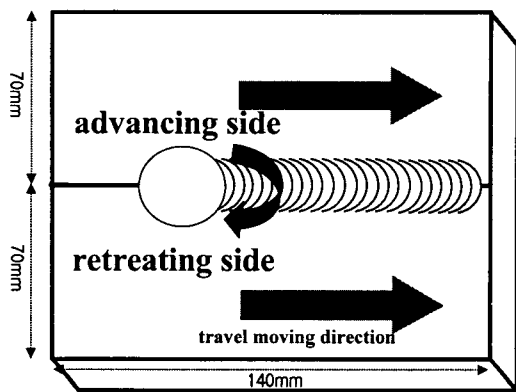


Fig.1 Schematic illustration of each weld side and welding process.

Fig.1에서 접합 툴이 회전하는 방향과 시편의 이동 방향이 일치하는 부분을 advancing side라 칭하고, 이와는 반대로 툴의 회전방향과 시편이 이동하는 방향이 반 평행인 관계를 나타내고 있는 부분을 retreating side라 칭할 수 있다.

따라서 이러한 관계에 기인하여 접합 시험편의 경우 advancing side 와 retreating side에서 약간의 조직 차이 및 기계적인 특성의 변화를 보였다<sup>1)</sup>

최근 산업구조물들이 복잡해짐에 따라 이종재료의 접합이 필수적인 기술로 여겨지고 있다<sup>2)</sup>. 따라서 동종 알루미늄 합금의 접합 시 우수한 접합 특성을 나타낸 마찰교반용접법을 이용하여 이종 알루미늄 합금을 접합하여 접합특성을 파악하고자 한다. 또한 용접변수 및 시편을 고정시킨 위치에 따른 접합부의 미세조직 및 기계적인 특성 변화에 대해 살펴보고자 한다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 알루미늄 합금은 6061 석출경화형 알루미늄 합금과 A356 알루미늄 주조재를 이용하였다. 각각의 시편은 길이 140mm, 넓이 70mm, 4mm 두께의 판재를 이용하였다.

본 실험에서는 편이 상 A356 알루미늄 합금을 retreating side에 고정하고, 6061 알루미늄 합금을 advacing side에 고정시킨 경우를 조건 A(condition A) 라 칭하였고, 이와 반대인 실험

조건을 조건B (condition B)라 칭하였다. 각각의 실험조건에서 동종알루미늄 접합 시 결합이 없었던 회전수인 1600rpm에서 용접속도를 변화시켜 접합을 시행하였다.

접합한 시편의 미세조직을 관찰하기 위해 keller 용액을 이용하여 부식시켰다. 6061 알루미늄과 A356 알루미늄 합금은 각각 부식액에 대한 다른 반응을 하기 때문에 거시조직사진으로 확실하게 두 조직을 구분할 수가 있었다. 6061 알루미늄과 A356 합금의 접합부 근방의 전위 관찰 및 석출상들의 거동을 관찰하기 위해 TEM(Transmission Electron Microscope)을 이용하였다. TEM 관찰을 위해 방전가공기를 이용하여 시편의 각각의 위치에서 3mm bar 형태로 채취한 후 twin jet polisher를 이용하여 시편을 제작하였다.

접합부 근방의 기계적인 특성을 관찰하기 위해서 경도시험 및 인장시험을 행하였다. 경도시험은 시편의 용접방향의 수직단면 중심부에서 모재에서 용접부 방향을 측정하였으며 실험 조건 하중 100g, 시간 10초를 주었다. 인장시험은 두가지 종류의 시험편을 이용하였다. 하나는 용접부에 수직인 방향으로 시편의 채취하였으며, 접합부만의 인장특성을 파악하기 위해 접합부 길이 방향으로 시편을 절취하여 시험을 실시하였다.

### 3. 실험 결과

#### 3.1 미세조직 관찰

Fig. 2 에서는 각각의 실험 조건에 용접속도를 변화시켜 접합한 접합부의 단면 거시조직을 나타낸다. 동일한 에칭액으로 부식을 시킨 경우, 6061 알루미늄 합금의 A356 합금에 비해 약간 어두운 빛을 띠기 때문에 거시조직 사진으로도 쉽게 구분할 수가 있다. A356 합금이 retreating에 고정되어 있는 경우, 접합부는 주로 밝은 색들이 관찰됨을 알 수 있다. 또한 부분적으로 밝은색을 띠고 있는 A356과 관련한 조직들과 어두운 색의 6061 알루미늄 합금과 관련한 조직들이 층상으로 배열되고 있음을 알 수 있다. 이러한 층상의 조직들은 접합부의 retreating side에서 현저하게 관찰되고 있다.

이와는 달리 6061 알루미늄 합금이 retreating side에 고정된 경우, 접합부가 주로 어두운 색을 띠는 6061 알루미늄 합금과 관련된 조직들이 관찰됨을 알 수 있다.

또한 접합속도가 낮은 경우 두 재료가 층상으로 이루어져 관찰 되는 오니온링(Onion ring)패턴이 접합부의 전부분에서 관찰이 되고 있지만 접합속도가 빨라질수록 층상의 조직들은 treating side에서 주로 관찰됨을 알 수 있다. 이는 접합속도가 늦을수록, 접합시간이 길어짐으로 두 재료가 접합부에서 충분히 혼합되었 것으로 사료된다. 또한 접합속도가 증가할수록 용접 입열량이 줄어들어 접합부의 면적이 약간은 감소함을 알 수 있다.

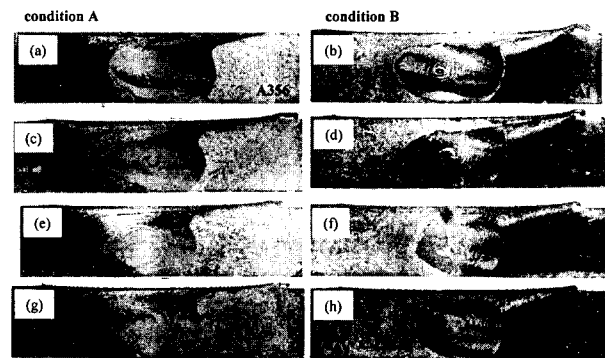


Fig.2 Macrostructure variation near weld zone with various welding speed  
(a), (b): 87mm/min, (c), (d):127mm/min, (e),(f):187mm/min, (g),(h):267mm/min

Fig.3에서는 A356 합금이 retreating side에 고정된 경우, TEM을 이용하여 모재 및 접합부의 미세조직을 나타낸다. 모재의 경우, Al과 Si의 층상 공정조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 접합부의 경우 매우 미세한 Si particle 들이 알루미늄 기지에 고루 분포하고 있음을 알 수 있다. 또한 모재와는 전혀 다른 미세한 재결정 조직들이 관찰되고 있음을 확인 할 수 있었다. 부분적으로 높은 전위밀도를 갖는 영역들이 관찰되고 있음을 확인할 수 있다.

Fig.4는 6061 알루미늄 합금을 retreating side에 고정시킨 경우, 모재 및 접합부의 미세조직을 나타낸 그림이다. 6061 알루미늄의 모재의 경우 미세한 석출상들이 매우 높은 밀도로 분포하고 있음을 알 수 있다. 그러나 접합부의 경우, 이러한 강화상들이 용접열에 의해 알루미늄 기지에 재고용되어 거의 관찰되지 않았으며, 부분적으로 A356 알루미늄 합금의 조직에 관련된 Si particle 들이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 모재에 비해서 매우 높은 밀도의 전위들이 관찰됨을 확인할 수 있었다.

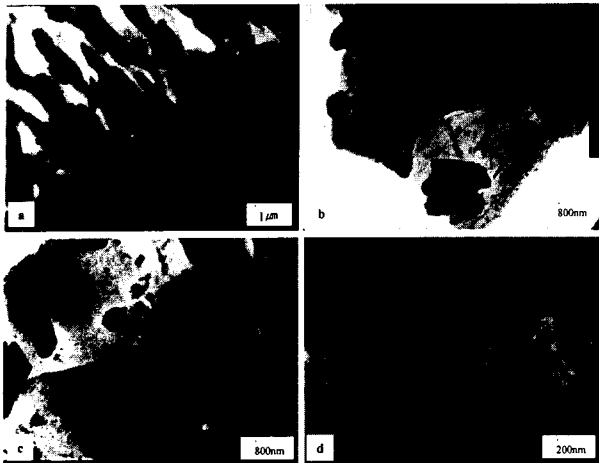


Fig.3 TEM micrograph of A356 base metal (a) and each part of stir zone (b-d) in case of condition A.

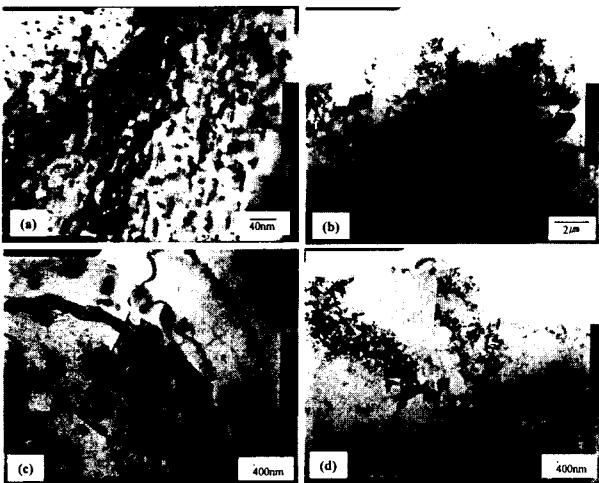


Fig.4 TEM micrographs of 6061 base metal (a) and each part of stir zone (b-d) in case of condition B.

Fig.5 에서는 각각의 접합조건에서 용접속도의 변화에 따른 경도값의 변화를 나타낸 그래프이다. 모든 조건에서 접합부는 6061 알루미늄 합금에 비해 약간은 낮은 경도값이 보이지만, A356 모재의 경우에 비해서는 약간 경도값이 높음을 알 수 있다. 이는 6061에 강화상으로 존재하는 석출물들이 용접열에 의해 접합부에서 기지에 재고용 되거나 혹은 조대해 졌기 때문으로 이다. 이에 반해 접합부는 A356 모재에 비해 높은 전위 밀도를 가지며 또한 Si particle 들이 모재에 비해 균일하게 분포 되어 있기 때문에 A356의 모재에 비해서 경도값이 향상되었으리라 판단된다. 또한 용접속도가 증가할 수록 접합부의 경

도값은 약간 상승하는 경향이 있는데 이는 접합부가 용접열에 의한 영향을 덜 받기 때문으로 사료된다.

기계적인 특성이 우수한 6061 알루미늄 합금이 retreating side에 위치한 경우가 그 반대의 경우에 비해 경도값이 약간 증가함을 알 수 있는데 이는 앞서 거시조직사진으로 확인한 바와 같이 접합부의 조직은 주로 retreating side에 위치한 재료로 주로 이루어지기 때문이다.

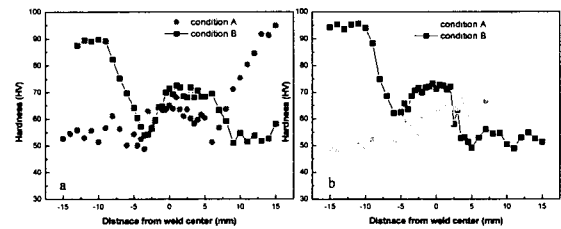


Fig.5 Hardness distribution near the weld zone with various weld conditions: (a) 87mm/min, (b) 267mm/min

#### 4. 결 론

이종알루미늄 합금을 각각의 실험조건에 접합하여 결함이 없는 우수한 접합부를 얻을 수 있었으며, 접합부의 기계적인 특성은 접합부를 이루고 있는 조직에 의해 영향을 받고 있다. 본 실험의 조건에서는 경질재료가 retreating side에 위치시켜 접합을 실시한 경우가 그 반대의 경우에 비해 우수한 기계적인 특성을 얻을 수 있다.

#### 참고문헌

1. Won Bae Lee, Yun-Mo Yeon and Seung Boo Jung: The evaluation of microstructure and mechanical properties of Friction Stir Welded 6005 Al alloy, Materials Science and Technology (Accepted paper)
2. W.B.Lee, Y.M.Yeon, and S.B.Jung: Proc. of Friction Stir Welding and Processing II, TMS, Sandiego, USA,(2003), 123-1312. D. Rosenthal : Mathemg, Welding Journal, 20-5 (1941), 2205-2345