

마찰교반접합법에 의한 이종 알루미늄 합금의 맞대기 접합부의 특성

The Lap-Joint Characteristics of Friction Stir Welded Dissimilar Formed Aluminum Alloys

김 종웅*, 이원배*, 김대업**, 장용성***, 연윤모****, 정승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 현대모비스 기술연구소

*** 포항산업과학연구원(RIST)

**** 수원과학대학 자동화시스템과

1. 서 론

마찰교반접합법(Friction Stir Welding, FSW)은 1991년에 영국의 용접연구소(TWI)에서 개발된 비 용융 접합법으로 [1], 개발된 이후 알루미늄 합금의 접합에 있어서 대단히 중요한 접합 공정으로 자리 잡고 있다. 그림 1은 FSW의 일반적인 맞대기 공정의 모식도를 나타낸다.

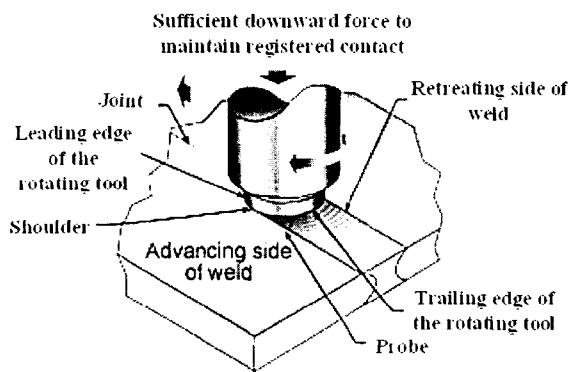


Fig.1 Schematic illustration of FSW process

다른 전통적인 용융접합법과 비교할 때, FSW는 적은 용접 변형, 용접부의 우수한 기계적 특성, 적은 공해 배출 및 보호 가스(shielding gas)나 filler 금속을 사용하지 않는다는 등의 장점을 가진다. 특히 알루미늄 합금들의 용융 접합의 경우에는 용접부에 결함이 비교적 쉽게 발생하여 기계적 특성에 심각한 영향을 끼치는 경우가 많은데, 결함으로부터 비교적 자유로운 FSW로 접합 시 공정 비용을 크게 줄일 수 있을 것으로 기

대된다.

6061 알루미늄 합금은 석출 경화형 합금으로, 열처리를 통해 합금 내에 Mg_2Si 를 석출시켜 강화한 합금이다. 6061과 같은 석출경화형 알루미늄 합금을 동종으로 마찰교반 접합 시, 마찰열에 의해 접합부 중심의 석출물이 기지내로 고용되어 강도 및 경도가 떨어진다고 보고 되어 있다 [2]. 반면 5052 알루미늄 합금은 가공 경화형 합금으로, 용접부내의 기계적 특성이 석출물과는 무관하다. 5052 합금 용접부의 경도 값은 모재에 비해 떨어지지 않는데, 이는 용접부 내의 결정립 크기 및 전위 분포와 관련이 있다 [3].

이와 같은 동종 재료의 FSW 접합에 관한 연구는 개발 이후 많은 진전을 보여 왔으나, 이종 재료의 FSW에 관한 연구는 그 예가 많지 않은 실정이다. 6061과 5052 알루미늄 합금은 둘을 겹치기(Lap-Joint)로 점용접(Spot Welding)하여 자동차 차체로 사용된다는 실례가 있는 바, 본 연구에서는 예의 두 재료를 FSW를 통하여 겹치기로 접합한 후 그 접합부의 미세조직 및 기계적 특성을 관찰하기로 한다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 상용되고 있는 6061 및 5052 알루미늄 합금 판재를 이용하되, 재료의 폭과 길이는 각각 85mm, 140mm로 동일하게 하였으나, 두께는 6061의 경우 2mm로, 5052의 경우 1mm로 하였다. 실험 조건은 기존의 6061 및 5052의 동종 접합시의 것을 참고로 하여 정하였으며, 시편의 위치는 6061이 위에 있을 때와 5052가 위에

있을 때를 모두 고려하였다. 자세한 시험 조건은 표 1에 나타내었다.

Variable	Range
Tool Rotating Speed (rpm)	1250~3600
Pin Inserting Depth (mm)	2.93~2.94
Plate Travel Speed (mm/min)	127, 267, 507

Table 1 FSW experimental conditions

접합부 및 모재의 미세조직을 관찰하기 위하여 용접부 단면을 연마한 후, 증류수 150ml, 질산 3ml, 염산 6ml 그리고 불산 6ml 의 용액으로 표면을 부식 시켰다. 단면 미세조직은 광학 현미경 (Optical Microscopy, OM)과 주사전자 현미경 (Scanning Electron Microscopy, SEM)을 사용하여 관찰하였으며, 용접부내의 상 및 원소는 Energy Dispersive Spectroscopy(EDS) 및 X-ray Diffractometer(XRD)를 이용하여 분석하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합 시편 단면의 경도를 측정하였다. 6061부위와 5052 부위를 별도로 각각 측정하였으며, 일정 간격을 두고 높이 방향으로도 측정 하였다. 이때 하중은 100gf로 주었고, 측정 시간은 10초로 하였다.

3. 결 과

그림 2는 6061이 위에 있을 때와 5052가 위에 있을 때, 각각 두 가지 조건에 따른 거시 조직을 나타낸다. 모든 경우에서 기공과 같은 결함은 전혀 발견되지 않았다. 6061이 위에 있는 경우, 툴의 회전 속도가 1600rpm에서 3600rpm으로 증가하면 아래 쪽에 위치하던 5052의 위쪽으로는 소성 변형량이 더 많아짐을 알 수 있다. 반대로 5052가 위쪽에 위치한 경우, 툴의 회전속도가 빨라짐에 따라 5052의 아래쪽으로는 소성 변형량이 많아짐을 알 수 있다. 이처럼 두 재료가 소성 변형하여 섞여 있는 형상을 나타낼 때, 주로 5052가 소성 변형하여 접합된 이유는 5052 알루미늄 합금의 높은 연신율에 기인하는 것으로 사료된

다. 어떤 경우에서든 툴의 회전 속도가 빨라지면 소성 변형량이 더 많아지므로, 기계적 특성 또한 향상되리라는 것을 기대할 수 있었다.

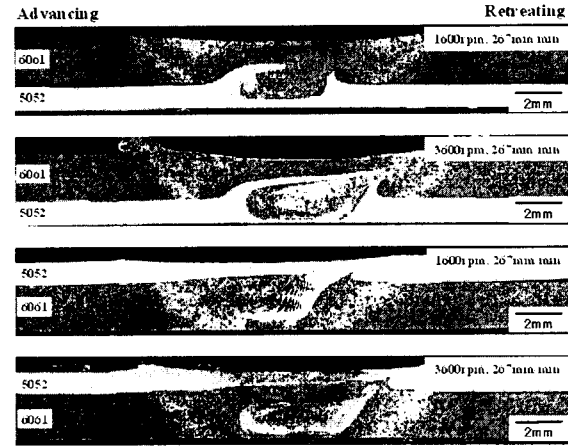


Fig.2 Optical macro structures of 4 conditions

그림 3은 6061이 위에 있으면서, 3600rpm, 267mm/min 조건에서의 접합부의 부위별 미세조직을 나타낸다. 접합부 가운데 쪽에는 FSW의 맞대기 용접 시 통상적으로 나타나는 Onion ring 패턴이 있음을 알 수 있는데, 이 부위의 확대하여 보면, 두 재료가 번갈아 존재하는 층상 조직이 형성되어 있음을 알 수 있다. 확대 사진에서 결정입계가 확실히 보이는 부위는 6061을 나타내고, 그렇지 않은 부위는 5052를 나타낸다. 이러한 층상으로 형성된 조직들이 두 재료를 기계적으로 접합상태를 유지하는데 주된 요인으로 작용하는 것으로 사료된다.

그림 4는 5052가 위에 있으면서, 3600rpm, 267mm/min 조건에서의 접합부의 미세조직을 나타낸다. 그림 3에서와 마찬가지로 두 재료의 소성변형으로 층상 조직을 형성하고 있는 것을 알 수 있다.

그림 5는 6061이 위에 있고, 접합 조건이 1600rpm, 267mm/min 일 때의 접합부 근방의 경도 분포를 나타낸다. 6061의 동종재료 접합시와 마찬가지로 접합부 주위는 모재보다 낮은 값을 나타내고 있는데, 특히 중심부로부터 약 7mm 떨어진 곳에서 가장 낮은 값을 보이고 있다. 이 부분이 열 영향부라 사료되며, 타 연구자들의 연구로부터 이 부근에서는 경도값에 큰 영향을 미치는 침상의 석출물이 기재내로 고용되고 큰 영향을 미치지 않는 봉상의 석출물만 잔류하여 경도

값이 떨어진 것임을 알 수 있었다 [2]. 접합부 중심과 비교하여도 이 부분의 경도값은 더 낮는데, 이는 접합부 중심에서는 마찰열과 소성유동에 의한 동적 재결정이 발생하여 조직이 미세화 된것에 기인하는 것으로 사료된다.

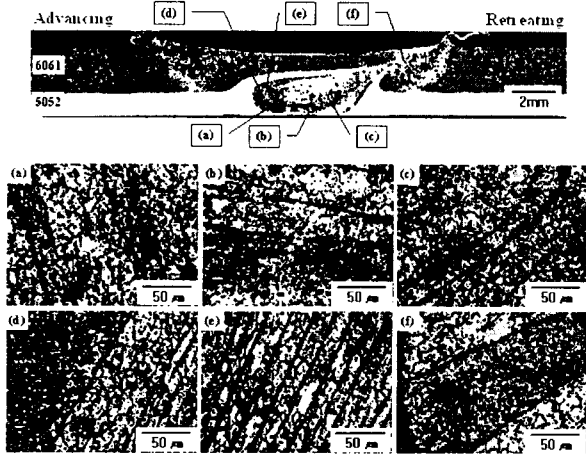


Fig.3 Microstructures, 6061 upper sided, in the condition of 3600rpm and 267mm/min

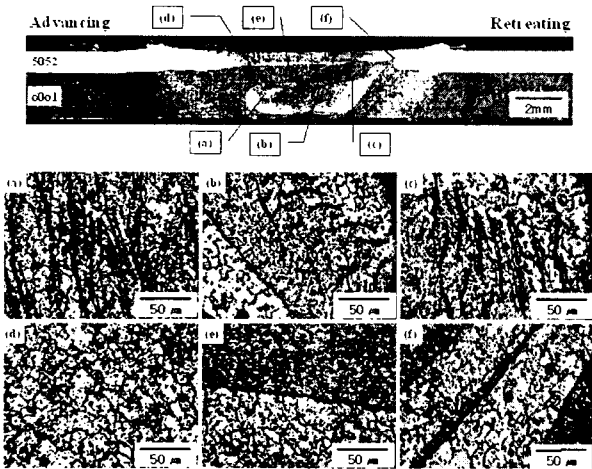


Fig.4 Microstructures, 5052 upper sided, in the condition of 3600rpm and 267mm/min

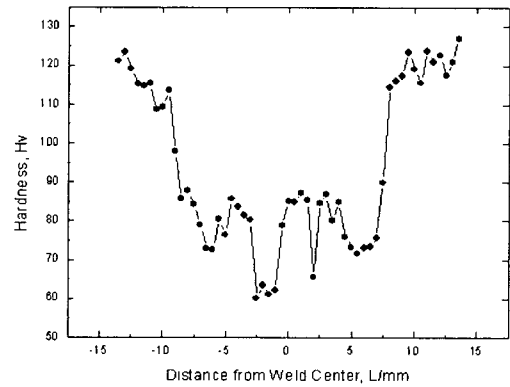


Fig.5 Hardness distribution in the condition of 1600rpm and 267mm/min

4. 결 론

6061 및 5052 알루미늄 합금의 겹치기 FSW 접합을 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 합금의 위치에 상관없이 실험한 전 조건에서 접합부에 결함이 없는 깨끗한 조직을 얻을 수 있었으며, 5052 합금의 소성 변형이 접합에 있어서 가장 중요한 인자라고 사료된다.
- 2) 접합부 내에서는 6061과 5052가 순차적으로 존재하는 층상 조직을 나타내었다.
- 3) 각 합금의 중앙 라인을 따라 경도값을 측정 한 결과 단종 재료의 접합부와 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. W. M. Thomas et al. : Friction Stir Butt Welding, International Patent Application No. PCT/GB92 Patent Application No. 9125978.8, 1991
2. W. B. Lee, Y. M. Yeon, S. B. Jung : Materials Science and Technology, In Press, 2003
3. Y. S. Sato, Y. Sugiura, H. Kokawa : Hardness Distribution and Microstructure in Friction Stir Weld of Aluminum Alloy 5052, 4th FSW Symposium, 2003