

마찰교반접합(FSW)에 의한 자동차용 Al합금의 접합부 특성 평가

The Evaluation of Joints Characteristics of Friction Stir Welded Al Alloys for Automobiles

김홍주*, 조현진*, 장웅성*, 방한서**

*포항산업과학연구원 용접센터

** 조선대학교 선박해양공학과

ABSTRACT To evaluate the applicability of dissimilar metal friction stir welding in automobile manufacturing process, friction stir welding trials were carried out for typical 5000 and 6000 series aluminum alloy sheets with 2mm thickness. The sound joints of Al5052 and Al6061-T6 alloys were successfully formed under a wide range of welding condition. Excellent weldability has been obtained at a condition of rotating speed 2000rpm and travel speed 100mm/min, while a radiographic test also confirmed defect free joint for this condition. Through the Erichsen cup test, the plastic formability of the FSWelded joints was found to be about 83% of base metal.

Key Words : Friction stir welding, Non-destructive testing, Plastic formability, Erichsen cup test

1. 서 론

마찰교반접합(Friction Stir Welding; FSW)은 비소모성 툴(tool)이 모재(substrate)에 접촉 회전하여 마찰열과 소성변형을 발생시켜 접합하는 접합법이다. 그리고, 접합재료의 용융이 일어나지 않으므로 고상접합에 분류되며 접합부의 우수한 특성을 얻을 수 있으며, 비철합금 및 철계 합금까지 접합이 가능한 접합법으로 알려져 있다. 특히 이 접합법은 접합 특성상 용접 흠(fume) 및 유해 가스 등이 발생하지 않아서 친환경적이고, 다른 접합법에 비해 간단한 접합 프로세스(process)를 가지고 있기에 특별한 기술을 필요로 하지 않는 등 많은 장점을 가지고 있다. 지구 온난화(도쿄협약)가 거론 되면서 자동차에 대한 경량화에 대한 문제가 거론되기 시작하였다. 알루미늄 차체, 범퍼, 엔진후드(프론트패널), 트렁크리드(백도어) 등에서 차체 경량화가 진행되고 있으며 앞으로 그 적용처는 더욱 증가할 것으로 보인다. 이것에 따른 새롭고 혁신적인 가공기술이 적용되고 있으며 실 예로 마찰교반을 이용한 접합기술이 자동차 덮개 부품에 새로이 채용되고 있다. 현재 저용점 경량합금의 접합에 이 기술이 적용되어지고 있으며 폭넓은 적용을 위해 많은

연구들이 이루어지고 있다. 따라서 이 접합방법을 이용하여 최근 자동차 차체 재료로서 각광을 받고 있는 Al5052와 Al6061-T6 합금에 대한 이종 마찰교반 접합을 실시하여 용접변수의 영향의 특성을 파악하고 접합부의 미세조직 및 접합부의 기계적 특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

본 실험은 전용 FSW 접합기기를 이용하여 특수 제작된 비소모성 툴을 이용하여 접합을 실시하였다. 그리고 툴의 회전 방향은 시계방향이고, 시편을 완전 고정하여 접합을 실시하였다. 주 접합인자는 툴의 회전속도와 이동 속도로 하여 최적의 접합조건을 도출하였다. 실험에 사용된 재료의 Al합금 조성은 Table 1에 나타내었으며, 200(L)×100(W) ×2 (T)(mm)로 판재 가공하고 두개의 부재를 맞대기 형태로 두고 접합을 실시하였다. 마찰교반접합 실험 후 접합부 조직을 관찰하기 위해서 접합 한 재료를 절단하여 마운팅을 한 다음 폴리싱 연마 후 광학 현미경을 사용하여 관찰하였고 조직 관찰에 Kellers부식액을 사용하였다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of Al6061-T6 and Al5052

| Chemical compositions (weight)(%) | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------|---------------|------|---------------------|------|-----|------|
| | Mg | Si | Cr | Mn | Cu | Zn | Fe | Al |
| Al 6061 | 1.0 | 0.7 | 0.2 | 0.15 | 0.2 | 0.25 | 0.7 | bal. |
| Al 5052 | 2.6 | 0.25 | 0.25 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.4 | bal. |
| Mechanical properties | | | | | | | | |
| | Tensile Strength(MPa) | | Elongation(%) | | Yield Strength(MPa) | | | |
| Al 6061 | 289 | | 10 | | 241 | | | |
| Al 5052 | 234 | | 4 | | 179 | | | |

또한 접합부 내의 결함부분과 미세조직 및 상 분석을 위해서 광학현미경과 SEM (Scanning Electron Microscope)을 사용하였다. 접합부의 경도는 마이크로 비커스를 사용하여 하중 300g, 시간 12sec를 주어 측정하였다. 그리고 인장전단시험을 실시하였으며, 접합부 인장전단시험은 JIS4호 규격에 맞추어 시편을 제작하여 cross head speed는 10mm/min로 실시하여 측정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Al5052합금과 Al6061-T6합금의 이중 마찰교반 접합을 실시하여 접합 후 시편의 상부 표면 외관 상태를 관찰한 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 주 접합인자인 툴의 회전속도와 접합속도를 가지고 다양한 실험조건으로 실험 한 결과 회전속도가 1000, 1500rpm에서 양호한 외관을 얻을 수 있었고, 특히 툴 회전속도 1000rpm, 접합속도 200mm/min 과 툴 회전속도 1500rpm, 접합속도 400mm/min에서 아주 양호한 결과를 얻었다. 그리고 툴의 회전속도가 빠른 조건에서 많은 burr가 발생함을 알 수 있었다. Fig. 2는 이중 Al5052/Al6061-T6 FSW접합부 각 영역에 대한 미세조직을 나타낸 사진으로서 열적 영향만을 받은 HAZ영역은 (B),(G)이고, 열적, 기계적 영향을 받은 TMAZ영역은 Fig. 2(C),(F) 그리고 툴의 회전과 마찰열에 의해서 재결정이 형성된 SZ영역은 각각(D),(E)이다. 또한, Fig. 2(A)와 (H)는 비열처리 Al-Mg계 합금 Al5052와 열처리 합금인 Al-Mg-Si계 Al6061 합금으로서 접합의 영향을 받지 않은 각 합금 특유의 모재 조직을 보이고 있다. 한편, 접합부 중심인 SZ영역은 마찰교반접합의 전형적인 특성인 onion ring의 형상과 층상 구조를 보이지 않는다. 접합부의 기계적 특성을 평가하기 위해 경도시험과 인장시험, 그리고 성형성 평가를 위한 에릭슨 실험을 을 실시하였다.

| Rotation speed (rpm) | Traveling speed (mm/min) | Macrostructures | Rotation speed (rpm) | Traveling speed (mm/min) | Macrostructures |
|----------------------|--------------------------|-----------------|----------------------|--------------------------|-----------------|
| 1000 | 100 | | 1500 | 400 | |
| | 200 | | | 500 | |
| | 300 | | | 100 | |
| | 400 | | | 200 | |
| 1500 | 100 | | 2000 | 300 | |
| | 200 | | | 400 | |
| | 300 | | | 500 | |

Fig. 1 FS weld surface in 2-mm Al5052/Al6061-T6

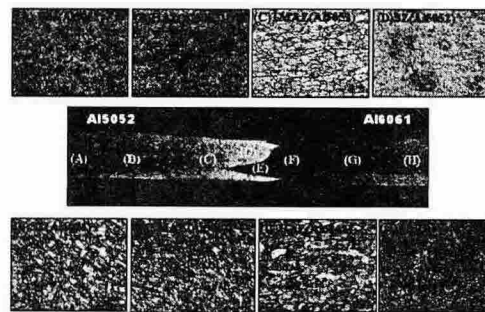


Fig. 2 Microstructures of friction stir welded joint Al5052/Al6061-T6 (1000rpm-200mm/min)

접합속도 200mm/min에서 툴 회전속도 1000~2000rpm 접합조건으로 맞대기 FSW를 행한 Al6061합금의 경도분포를 Fig. 3에 나타내었다. 서로 다른 재료의 경계면에서 큰 차이를 보이며, 회전속도가 높아지면서 HAZ영역이 넓어짐을 확인할 수 있다. 그리고 열처리 합금 Al6061-T6의 접합부 근방에서 경도 저하를 보인다. 이는 툴의 회전속도가 증가함에 따라 마찰열이 높아진다고 생각된다. Fig. 4는 각각의 모재와 Al5052 /Al6061 이중 FSW접합부의 인장시험 후 최대인장강도와 연신율을 측정된 값이다(각 조건별 실험명:DA-1~DA-14). 그림의 결과와 같이 각 조건별로 인장강도 및 연신율은 큰 차이를 보이지 않았으며, Al5052합금 모재 강도의 84%를 보이는 결과를 보였다. 그리고 Fig. 5는 Al5052/Al6061 FSW접합부의 비파괴 검사(non-destructive testing)를 실시하여 이중 FSW 접합부의 결함유무를 확인하였다. 모든 조건에서 특별한 결함을 확인할 수 없었다.

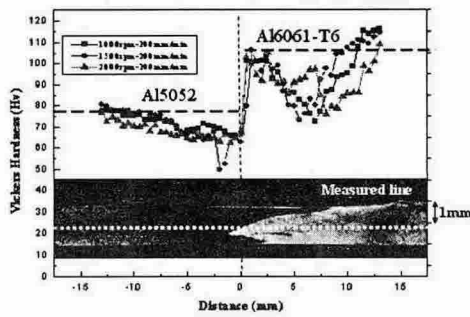


Fig. 3 Harness distribution of near FS welded zone of 5052/6061-T6 Al alloy.

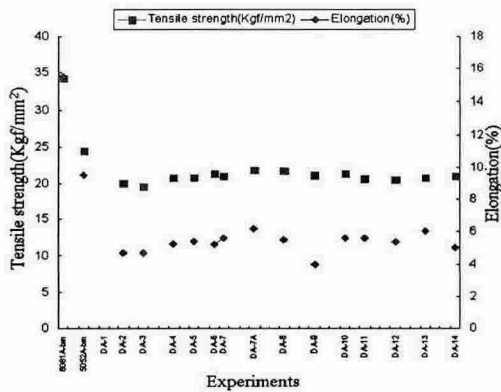


Fig. 4 The results of tensile strength and elongation results of FSWelded

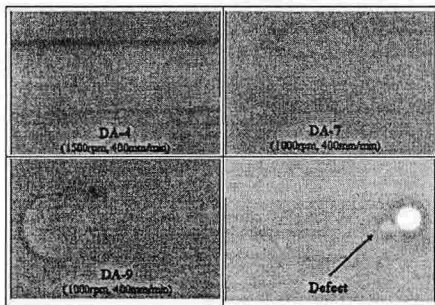


Fig. 5 The results of X-ray photograph

그리고 Al5052/Al6061-T6합금의 이중 FSW접합부의 성형성을 평가하기 위해서 접합부에 에릭슨 시험 (Erichsen cup test)을 실시하였다. 인장시험에서 가장 좋은 특성을 보이는 조건(1000rpm, 100mm/min)과 모재들에 대해서 성형성을 평가하였으며 Fig. 6은 성형성 평가(에릭슨시험)후 파단 되어진 형상이다. 시험결과 FSW 접합의 특성인 접합표면(ring 형상)의 특성을 따라서 접합부에 파단이 일어났다. 그림에서 보듯이 모재 Al6061-T6에서는 취성과파단을 보이며 FSW접합부는 연성과파단을 보인다. 이는 접합에 의해 접합부의 성형성이 향상된 것으로 사료된다. 에릭슨 시

험에 의한 모재 및 접합시험편의 성형 높이의 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 시험 결과 이중 Al5052/Al6061-T6의 FSW접합부는 모재(Al5052)의 약 83%의 성형성을 보였다.

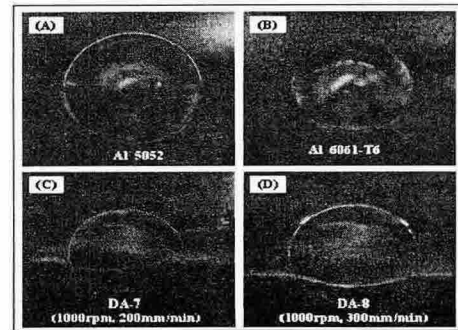


Fig. 6 Appearance of specimen after Erichsen cup test

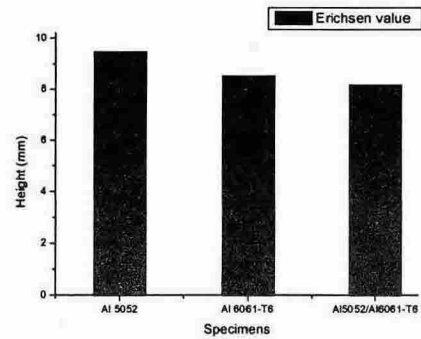


Fig. 7 The results of Erichsen cup test

4. 결 론

5052와 6061의 Al합금에 대한 이중 마찰교반접합을 실시하여 접합성 및 접합부의 기계적 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Al 5052, Al 6061-T6합금의 이중 마찰교반접합(FSW)을 실시하여 톨의 회전속도 1000~2000rpm, 접합속도 100~400mm/min에서 양호한 접합을 보였다.
2. FSW 접합후 1000rpm, 200mm/min에서 가장 좋은 접합부 특성을 보였으며, 비파괴 시험(non-destructive testing)결과 또한 결함이 없는 접합부를 보였다.
3. 접합부 성형성 평가에서도 이중 Al5052/Al6061-T6의 FSW접합부는 모재 대비 83%의 성형성을 보였다.