

# 마찰교반용접법을 이용한 이종 알루미늄합금/마그네슘합금의 접합특성

## Joint properties of dissimilar Al alloy/Mg alloy by friction stir welding

이창용\*, 이원배\*, 연윤모\*\*, 장응성\*\*\*, 정승부\*

\* 성균관대학교 신소재공학과

\*\* 수원과학대학 자동화시스템과

\*\*\* 포항산업과학연구원 (RIST)

### 1. 서 론

마찰교반용접(FSW)은 접합하고자 하는 재료를 용점(melting point) 이하의 온도에서 특수하게 제작된 접합틀을 사용하여 재료의 소성유동 및 마찰열을 이용하여 접합하는 고상 접합법이다. FSW는 1991년 영국의 TWI에서 Al합금의 용접을 위하여 개발된 이후로 Al 합금 뿐만 아니라 Mg, Cu 등 다양한 합금의 접합에 널리 적용되고 있다. 또한 FSW는 기존의 용융 접합법에 비하여 용접변형이 적고, 용접부의 기계적 특성이 우수하고, 공해배출이 적으며, 보호가스(shielding gas)와 삽입금속(filler metal)을 사용하지 않는 등 여러 가지 장점을 지님으로서 앞으로 무한한 발전이 기대되는 용접방법이다.

현재 전 세계적으로 FSW를 이용한 용접에 관해 다양한 연구 자료가 보고 되고 있다. 하지만 대부분 Al, Mg에 대한 동종재료의 접합 혹은 동종 중에서 다른 합금계 끼리의 접합에 관한 내용이고, 이종재료의 접합에 관한 실험에는 극히 드문 실정이다. 하지만 산업기술이 발전함에 따라 구조재와 기능재의 구분이 모호한 재료가 필요하게 되고, 또한 적당한 혼용이 요구되어지는 분야가 차츰 증가하는 추세이다. 따라서 다양한 합금을 이용한 이종재료의 접합에 관한 실험결과와

연구자료가 절실히 요구되는 상황이라 할 수 있다.

Al 5052합금은 Al에 Mg을 첨가한 합금으로서 내해수성, 성형성, 용접성이 우수하여 선박용 구조부재, 연료탱크, 가정용 기구 등에 널리 사용되는 재료이다. 좋은 용접성과 알루미늄 내에 포함된 Mg이 Al 합금과 접합시 좋은 용접특성을 얻는데 기여할 것으로 기대되어 본 실험에서 채택되었다. 본 실험에서 사용된 마그네슘 합금은 ZW41A 합금으로서 Mg-Zn계 합금에 희토류 금속인 이트륨(Y)이 첨가되었고, 다른 Mg 합금에 비하여 연성이 약 10~20% 향상되었다는 특징이 있다. 높은 연성은 FSW시 소성유동이 더욱 잘 일어날 수 있도록 기여하므로 좋은 용접특성을 기대할 수 있다.

본 실험에서는 Al합금(Al5052)과 Mg(ZW41A)을 겹치기(lab joint)로 마찰교반접합하여 그 접합부의 미세조직을 관찰하고, 기계적 성질을 측정하여 궁극적으로 FSW의 이종재료접합 적용 가능성에 대하여 연구하고자 한다.

### 2. 실험 방법

본 실험에 사용된 알루미늄합금과 마그네슘합금의 조성은 각각 다음의 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical Composition of 5052 Al alloy and ZW41A Mg alloy

Al alloy 5052	Si	Fe	Cr	Mg	Mn	others	Al
	0.14 ~ 0.25	0.36 ~ 0.4	0.15 ~ 0.35	2.2 ~ 2.8	0.04 ~ 0.1	0.024 ~ 0.15	
ZW 41A	Y	Zn	Ce	Al	Mn	Mg	vol.
	0.8 ~ 1.0	3.7 ~ 4.1	0.01 max	0.05 max	0.01 max		

각 재료를 140mm×90mm×1mm 크기로 가공한 후 판재의 양 끝단을 30mm 겹쳐서 접합을 실시하였다. 간단한 모식도를 Fig. 1에 나타내었다.

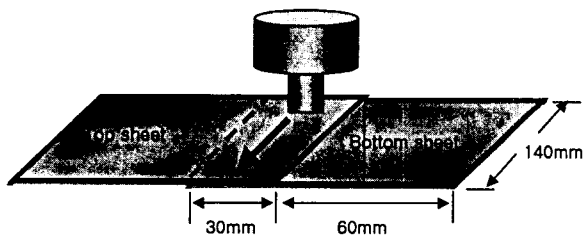


Fig. 1 Schematic illustration of FSW for lap joint

이때 사용된 틀의 핀은 직경 2mm, 높이 2mm 이고, shoulder 직경은 10mm이다. 또한 Mg이 Top sheet로 위치할 때와 Al이 Top sheet로 위치할 때를 모두 고려하여 실험하였으며, 자세한 실험 변수를 Table 2에 나타내었다.

Table 2. experimental condition

Variable	Range
Tool rotating speed	1800, 3600 (rpm)
Pin inserting depth	1.92 ~ 1.94 (mm)
Plate travel speed	61, 87, 127, 187 (mm/min)

접합 후 모재와 접합부의 미세조직 관찰은 용접부의 단면을 연마한 후 두가지 에칭액을 사용하여 실시하였다. 먼저 Mg 합금(ZW41A)의 미세조직은 에틸 알콜(ethyl alcohol) 100ml, 증류수(distilled water) 10ml, 아세트산(acetic acid) 5ml, 피크릭산(picric acid) 5g의 혼합용액에 약 1분간 부식하여 관찰하였고, 5052 Al합금의 미세조직은 켈러(keller)용액(증류수 150ml+염산 6ml+불산 6ml+질산 3ml)에 약 3분간 부식하여 관찰하였다. 단면 미세조직은 광학현미경(Optical

Microscopy, OM)과 주사전자 현미경(Scanning Electron Microscopy, SEM)을 사용하여 관찰하였으며, 용접부 내의 상 및 원소는 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 및 XRD (X-Ray Diffractometer)를 이용하여 분석하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합시편 단면의 경도를 측정하였다. Al 부위와 Mg 부위를 구분하여 각각 측정하였으며, 일정간격을 두고, 높이 방향으로도 측정하였다. 이 때 하중은 100gf를 주었고, 측정시간은 10초로 하였다.

### 3. 결과

Fig. 2에 접합 후의 시편의 형상을 나타내었다. 외관상으로는 모두 접합상태가 양호해 보이나 알루미늄을 Top sheet로 하였을 경우 가공중에 모두 접합부에서 파괴되었다. 따라서 미세조직 관찰과 경도시험은 마그네슘을 Top sheet로 한 경우에서만 실시하였다.

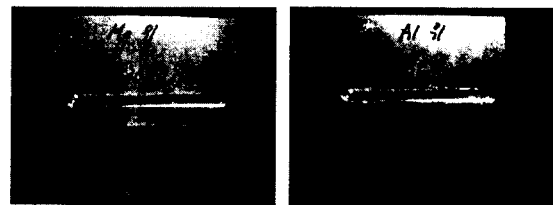


Fig. 2 external shape after FSwelding

Fig. 3에 접합부의 마크로 조직 사진을 plate travel speed로 구분하여 나타내었다. (a)와 (b)를 비교하였을 때 상대적으로 (a)조건 즉 127mm/min 의 travel speed의 경우가 더 양호한 접합부



(a) 3600rpm 127mm/min.



(b) 3600rpm 87mm/min.

Fig. 3 Optical macro structures near the weld zone with welding speed

를 형성하고 있음을 알 수 있다. (b)의 경우는 알

루미늄과 마그네슘 사이의 경계가 뚜렷이 구분되며, 기공으로 보이는 결함도 관찰된다. 따라서 외관사진에서와는 달리 완전한 접합이 이루어지지 않았음을 알 수 있다.

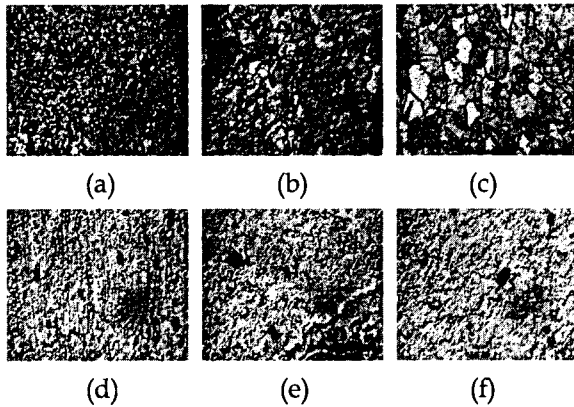


Fig. 4 Micro structures of Al/Mg joint in the condition of 3600rpm and 127mm/min

Fig. 4에 macro 조직상에서 가장 양호한 결과를 보였던 3600rpm tool rotating speed, 127mm/min plate travel speed 조건에서의 접합부 미세조직사진을 나타내었다. (a)~(f)는 Fig. 3-(a)에서 표시된 영역과 일치한다. Fig.4의 (a), (d) 즉 stir zone에서 가장 미세한 grain size를 나타내고, 중심부에서 멀어질수록 grain size가 증가하고 있음을 알 수 있다. Fig. 4의 (c)는 ZW41A의 모재조직을 나타내고 있다. 그림에서 가공 후에 충분히 열처리된 듯한 결정을 관찰할 수 있는데 이는 본 실험에 사용된 원재료인 ZW41A의 열처리 특성과 잘 부합되는 결과라고 할 수 있겠다.

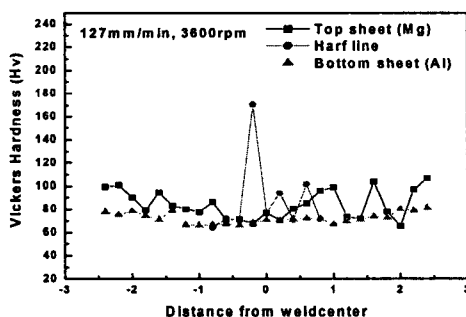


Fig. 5 Hardness distribution in the condition of 3600rpm, 127mm/min

3600rpm, 127mm/min 조건에서의 접합부의 기

계적 강도를 시험하기 위하여 Vickers 경도를 측정된 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 그래프에서 알 수 있는 바와 같이 모재강도는 ZW41A Mg 합금이 Al 합금 5052에 비해 약간 높은 것으로 나타났다. 중심부에서는 국부적으로 아주 높은 경도값을 나타내는 부분이 나타났는데 이 부분은 SEM에 의한 미세조직 분석과 EDS에 의한 원소 분석을 확실하게 실시해야 할 부분으로 사료된다. Al-Mg 2원계 상태도에 의하면 Al과 Mg 간에  $Al_3Mg_2$ ,  $Al_{12}Mg_{17}$  의 두가지 금속간 화합물이 존재할 수가 있고, 또한 이것들에 의하여 기계적 강도의 증가가 가능하다는 SHC. Park의 연구 자료가 보고된바 있다. 또한 87mm/min plate travel speed의 조건에서 동일한 시험을 하였을 때와 비교하여 중심부에서 발생하는 높은 경도값의 빈도가 더 높은 것으로 보아서 물성이 상이한 두 재료가 tool의 교반작용 및 화학반응에 의해 127mm/min 인 경우 접합이 용이하게 이루어짐을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

5052 Al합금과 ZW41A Mg합금을 접치기로 마찰교반접합하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) Al이 Top sheet에 위치했을 경우 외관상의 결과와는 달리 완전한 접합이 이루어지지 않았다.
- 2) Tool의 rotation speed가 1800rpm에서 3600rpm으로 높아질수록, plate의 travel speed는 87mm/min에서 127mm/min으로 높아질수록 양호한 접합 특성을 나타내었다.
- 3) Vickers Hardness 측정결과 중심부에서 나타난 아주 높은 경도값은 금속간 화합물에 기인한 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. Factors Affecting the Properties of Friction Stir Welded Aluminum Lap Joints : L. Cederqvist
2. Binary alloy phase Diagram 2nd Edition p.170
3. Dissimilar Friction-stir welding of Al alloy 1050 and Mg alloy AZ31 : SHC.Park, Hiroyuki kokawa, IWC Korea 2002 p534-538
4. Joint properties of dissimilar materials by friction stir welding method : W.B Lee, S.B Jung, 대한용접학회 2003 추계 학술발표대회 개요집 p.57-59
5. 신금속재료학 : 양훈영 (1998) p.409-440