

Al 5052 합금의 마찰교반 겹치기 접합 특성

The characteristics of lapping Friction Stir Welded Al 5052 alloy

주 수원*, 박 경채*

* 경북대학교 금속공학과

ABSTRACT

Of typical welding techniques, to employ the heat for joining process is the most commonly used welding process. But there arise difficulties when this process is applied to light weight alloys such as Aluminium alloy. In this respect, Friction Stir Welding(FSW), a solid-state joining process, is the most effective welding technique with significant potential for various industrial applications. In this study, the characteristics of lapping FSW Al 5052 alloy are shown under a variety of welding parameters such as the rotation speed of FSW tool and welding velocity. Conclusively, the welding properties of lapping FSW Al 5052 were found to be dominated by the deformation of non-joining area near the welding nugget rather than other factors such as the thermal input.

1. 서 론

열원을 이용한 용융접합 원리의 전통적인 용접 기술은 Al과 같은 경량합금의 적용에 있어 기술적인 제약이 따른다. 이러한 측면에서 1991년 영국 TWI(The Welding Institute)에 의해 개발된 마찰교반접합(FSW)은 고속으로 마찰열을 이용한 고상접합 기술로서, 기존의 접합 기술과 달리 경제성이나 환경적인 측면에서 매우 유용한 접합 기술로 평가받고 있다.

선진국의 경우 이미 실용화 단계에 이르러 다양한 산업분야에 적용을 위한 연구와 응용기술 개발을 추진하고 있으며, 국내에서는 최근 들어 연구 활동이 증가되는 추세이나 산업분야 적용을 위해서는 산업현장에서 활용되고 있는 다양한 소재를 대상으로 접합 개념이나 인자들에 관한 폭 넓고 심도 있는 연구가 요구되는 실정이다.

본 연구에서는 내식성이나 용접성이 양호한 Al 5052 합금을 소재로 접합 개념의 차별적인 현상 관찰을 위해 기존의 다수 연구에서 다루어 왔던 맞대기(Butt) 접합이 아닌 상·하부 겹쳐진 두 판재의 겹치기(Lap) 개념을 적용하였으며, 접합 Tool의 회전속도와 접합속도를 변화시키면서 접합부 조직 변화를 관찰하고, 이러한 변화들이 기계적 특성에 미치는 영향을 연구하고자 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 Al 합금 중에서 중정도의 강도를 가진 가공 경화형 합금인 Al 5052 합금을 접합재로 사용하였으며, 합금의 조성과 기계적인 특성은 Table 1~2에 각각 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of Al 5052 alloy

	Mg	Fe	Cr	Si	Cu	Mn	Zn	Others	Al
wt %	2.2 ~ 2.8	0.4	0.15 ~ 0.35	0.25	0.1	0.1	0.1	0.15	rem

Table 2. Mechanical properties of Al 5052 alloy

Tensile strength(MPa)	195
Yield strength(MPa)	90
Shear strength(MPa)	125
Hardness(HB)	47

시험편 제작은 두께 2mm, 크기 100mm×100mm로 절단한 두 판재를 40mm씩 상·하부로 겹쳐 두 모재가 겹쳐진 부분을 중심으로 FSW 접합 Tool의 회전속도와 접합속도를 변화시키면서 겹치기 접합을 하였으며, 실험에 적용한 접합변수는 Table 3에 나타내었다. 접합 Tool의 어깨부(Shoulder)는 직경 15mm, Pin의 직경과 길이는 각각 5mm, 4mm로 나사산 형태로 가공하였다.

Table 3. FSW parameters in the present study

Alloy	Rotating speed (rpm)	Welding Velocity (mm/min)
Al 5052	1300, 1500,	100, 300,
	1700, 1900, 2100	500, 700

접합부의 조직 관찰과 상 분석은 광학현미경(OM, Optical Microscope)과 주사전자현미경(SEM, Scanning Electron Microscope)을 이용하였으며, 조직관찰 시편은 접합방향과 수직으로 절단한 후 얇게 연마하여 증류수(distilled water) 150ml, 불산(fluoric acid) 6ml, 연산(hydro-chloric acid) 6ml, 질산(nitric acid) 3ml를 혼합한 용액에 약 2분간 부식(etching)시켰다.

접합부 기계적 특성을 관찰하기 위해 KS M 3474에 따라 5mm/min의 Cross head speed로 인장 전단 시험을 수행하였으며, Micro-Vickers 경도기를 이용한 접합부 단면의 경도 변화를 측정하였다. 경도 측정 시험조건은 하중 100gf, 압입시간 10초를 유지하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 광학현미경을 이용하여 관찰한 Al 5052 합금의 마찰교반 겹치기 접합부 단면의 대표적인 조직을 보여주고 있다.

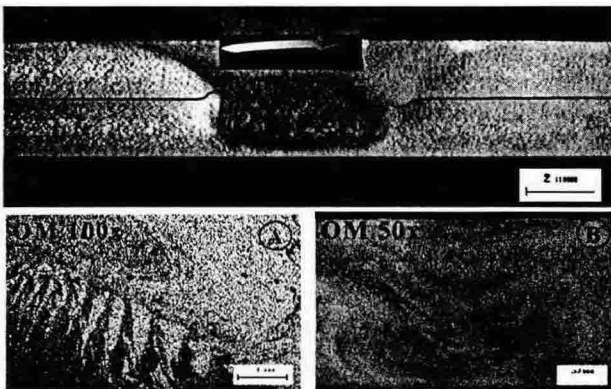


Fig. 1. Macro & Microstructures near the FSW zone(1,500rpm-700mm/min)

접합부 중심에는 모든 시편에서 복주머니 형태의 Welding nugget이 존재되며, 교반이 일어난 nugget 내부에서는 상·하부 판재의 교반혼적인 Onion ring, Kissing bond, Wave line 등이 관찰되었다. 또한 대부분 시편의 교반부에서는 미세한 결함들이 관찰되었는데 크기는 2mm 이내로 모두 Nugget 중앙 하부에 위치하고 있었다. Fig. 2는 접합변수와 결함과의 상관관계를 나타내는 도표로서 Tool의 회전속도 1,700rpm 이상, 접합

속도 500mm/min 이상에서 결함이 없는 건전한 경향을 나타내고 있으며, 모든 결함이 접합속도 300mm/min 이하, 700mm/min 구간과 회전속도 1,500rpm 이하에서 관찰됨에 따라 결함의 원인은 접합 Tool의 고속 회전과 저속의 접합속도에 의한 과도한 교반작용에 의해 표면 모재의 일부가 Burr의 형태로 판재 상부로 배출됨에 따라 교반부 내에 충분한 양의 모재가 존재하지 못했거나, 부족한 회전력과 빠른 접합속도 따른 교반효과 저하에 의한 것으로 사료된다.

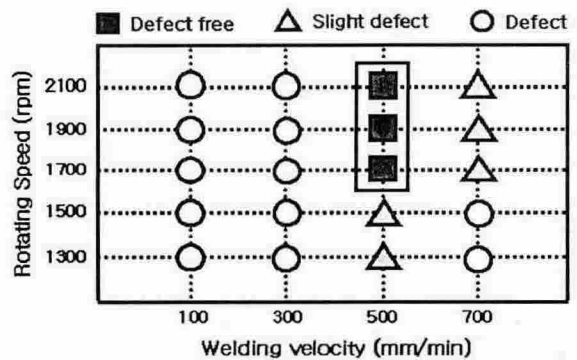
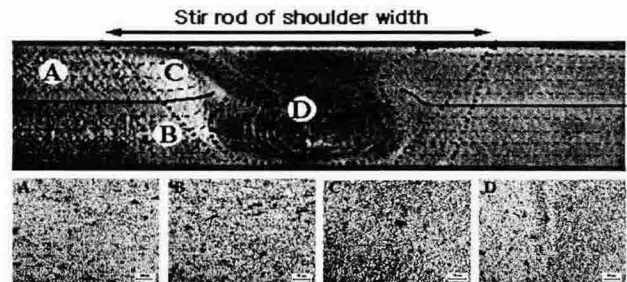


Fig. 2. Defects map of the FSW nugget

Fig. 3은 FSW 접합부의 모식도와 1,000배의 광학현미경으로 관찰한 접합부 영역의 미세조직을 보여주고 있다. 접합변수에 따른 조직의 뚜렷한 변화는 관찰되지 않았으며, 접합부 주변 조직은 Tool의 강한 회전으로 발생된 마찰열과 기계적 변형이 동반된 교반작용에 의해 동적재결정이 일어나 결정립 다소 미세화된 Stir zone이 존재하고, SZ를 중심으로 소성유동에 의한 변형과 부분적 재결정을 이룬 TMAZ 영역과 교반부로부터 전달된 열에 의한 영향을 받아 결정립이 미세하게 조대화된 HAZ 구간, 교반의 영향을 받지 않아 압연 가공의 흔적인 가로 방향의 결정립 배열을 보이는 모재부의 영역을 관찰할 수 있었다.



(A) Base metal (B) Heat affected zone(HAZ)
(C) Thermomechanically affected zone(TMAZ)
(D) Dynamically recrystallized zone(Stir zone)

Fig. 3. Microstructure of lapping FSW zone

Fig. 4~5는 SEM을 이용하여 관찰한 BSE(Back Scattered Electron) 이미지상과 EDS(Energy Dispersive Spectroscopy) 분석 결과를 나타낸다. 접합부 주변 영역에서의 화합물 분포나 크기의 변화는 없었으며, 이러한 화합물은 Al₃Fe 상과 유사한 조성을 금속간 화합물로 사료된다.

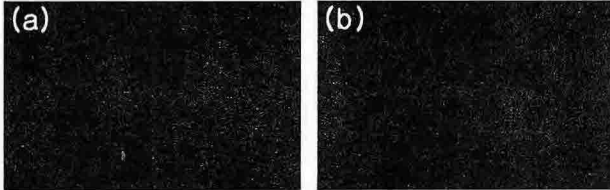


Fig. 4. BSE image of FSW zone

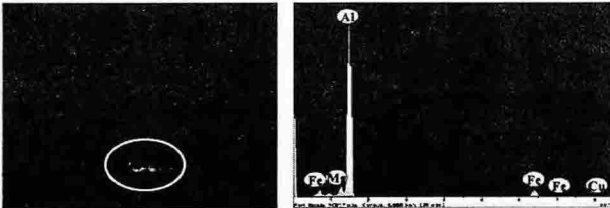


Fig. 5. EDS for intermetallic compound

인장 전단시험에 따른 평균 전단강도는 모재의 72% 수준이며, 최적의 조건에서 90%의 강도를 보인다. 또한 접합변수에 따른 강도변화의 경향성은 관찰되지 않았으나, 모든 파단이 교반부와 TMAZ가 인접해 있는 상부판재에서 일어났으며 Fig. 6은 전형적인 파단 위치와 접합변수에 따른 전단강도 및 접합부 주변 조직을 나타내고 있다.

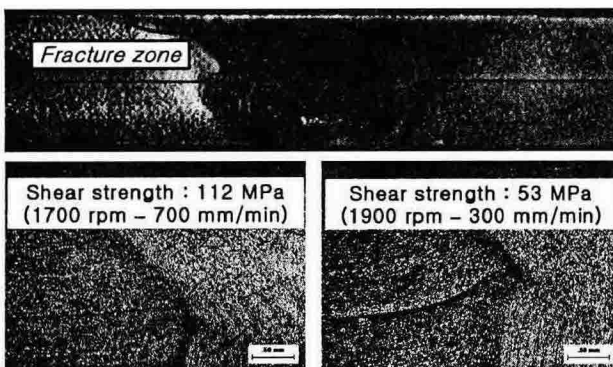


Fig. 6. Macro image of typical fracture zone

Fig. 6에서와 같이 교반부와 인접한 “미접합 계면 형상”의 왜곡 정도에 따라 전단강도가 변화됨을 알 수 있다. 이러한 계면 형상은 Tool의 회전 속도가 낮고, 접합속도가 빠를수록 건전한 경향을 보였는데 겹치기 접합의 경우 이러한 계면의 변형정도가 기계적 특성에 결정적인 영향을 미칠

것으로 사료된다.

Fig. 7은 접합부 기지의 경도 측정결과를 나타낸다. 접합변수에 따른 미세한 경도 값의 변화가 있었으나 경향성은 관찰되지 않았으며, 모재보다 미세하게 증가된 SZ은 동적재결정에 의한 결정립의 미세화된 효과가 있었으며, 모재에 비해 감소된 HAZ 구간은 열에 의해 결정조직이 조대화됨에 따라 조직이 연화되었을 것으로 사료된다.

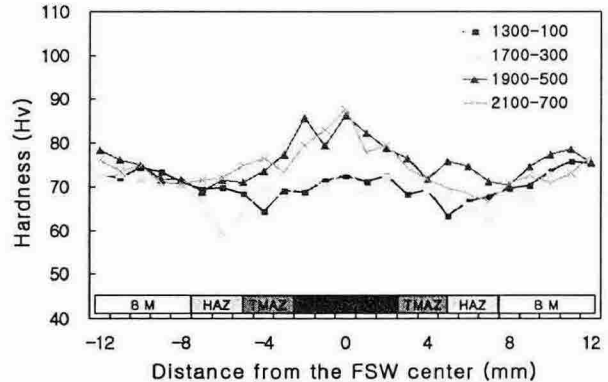


Fig. 7. Hardness distribution near the FSW zone

4. 결 론

가공경화형 합금인 Al 5052 합금의 마찰교반 겹치기 접합을 실시한 후 미세조직과 기계적인 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 열과 변형에 의한 교반부의 동적재결정과 열에 의해 다소 조대화된 HAZ의 조직변화는 확인되었으나 상 분포나 조성의 변화는 없었으며, 이러한 가공경화형 합금의 특성이 접합부의 미세한 경도변화에 영향을 미친 것으로 사료된다.

2) 최적 조건에서 전단강도는 모재의 90% 수준이며, 겹치기 접합에 있어서는 교반부와 인접한 미접합 계면의 변형 정도가 Nugget 내부의 결함이나 접합부 주변의 조직 변화보다 강도변화에 미치는 영향이 현저함을 알 수 있었다.

참고문헌

1. ASM Specialty Handbook : Aluminum and aluminum alloys, ASM international, (1998), 22-72
2. L. F. Mondolfo : Aluminum alloys structure and properties, Butterworth Co., (1976), 282-283, 812
3. 이원배, 장형선, 장웅성, 연운모, 정승부 : 6061 알루미늄 합금의 접합변수에 따른 접합부 특성, 대한용접학회 춘계 학술발표대회 개요집, (2003), 180
4. 임성근, 김상식, 이창길, 김성준 : 마찰교반용접된 각종 알루미늄 합금의 미세조직과 인장특성, 대한 금속·재료학회지, Vol.14, No.11, (2003), 747-748