

Mg 합금의 제조 방법에 의한 FSW 접합성 평가

The Evaluation of Weldability for Different Manufactured Mg Alloys in FSW

노 중석*, 김 홍주**, 장 응성*, 방 국수***

* 포항산업과학연구원(RIST)

** 조선대학교 생산가공 공학과

*** 부경대학교 소재프로세스 공학과

ABSTRACT

Hot-rolled and Extruded plates of AZ type magnesium alloys were successfully joined by friction stir welding(FSW). AZ31B-H24 and AZ61 plates with the thickness of 4mm were used, and the microstructural development in the stir zone were investigated using optical and scanning electron microscopes. The grain size of base metal and stir zone were investigated using the line-intersector method. Hardness of the stir zone was remarkably increased due to very fine recrystallized grain structure both in AZ31 and AZ61 alloys. Tensile strengths of the FS welded Mg alloys AZ31 and AZ61 were strongly affected by formation of the intermetallic compounds, β -Al₁₂Mg₁₇.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 환경 오염 및 지구 온난화에 따른 기상이변으로 인하여 생존에 대한 위기의식이 점차 증폭되고 있으며, 이에 따라 선진국을 중심으로 세계 각국은 각종 환경 규제를 강화하여 환경오염을 억제하려는 노력을 기울이고 있다. 이러한 노력 중에 환경오염의 주범인 자동차를 경량화시켜 환경오염을 막고 에너지 효율을 높이기 위해서 경량화 금속의 사용이 증가되고 있다. 자동차의 경량화를 위한 소재로는 현재 알루미늄, 마그네슘, 강화플라스틱등 많은 재료가 있지만 그 중에서도 최근에 마그네슘 합금의 사용이 급증하고 있는 상태이다. 마그네슘 합금은 밀도가 알루미늄 합금의 2/3, 철 합금의 1/5 수준으로 현재까지 개발된 합금 중 가장 낮은 밀도를 가지고 있으며 여타 경량 재료와 비교하여 손색이 없는 비강도 및 비탄성 계수를 갖고 있다¹⁾.

FSW는 이미 알루미늄 합금에 많은 적용이 되어져 왔다. 이러한 활발한 연구로 인해 FSW 용접을 하는 동안 틀의 형상, 재료, 전진각, 가압력

등의 용접 변수들이 어느 정도 밝혀지면서 여기에서 얻어진 많은 데이터들을 마그네슘 합금의 용접에 적용할 수 있게 되었다²⁾.

본 실험에서는 지금까지 보고 된 용접 조건 및 용접 변수를 고려하여 FSW 접합 시 Mg의 제조 방법에 따라 나타나는 조직의 변화 및 기계적 성질에 미치는 영향 등을 검토하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 마그네슘 합금은 우수한 강도와 연성을 가지는 전신재 합금으로 가공경화와 부분 어닐링 처리된 AZ31B-H24 합금과 압출 공정으로 생산된 AZ61 합금을 사용하였다. 본 실험에서 사용된 합금의 조성 및 기계적 특성을 Table 1과 Table2에 각각 나타내었다.

Table 1. Chemical composition of Mg Alloys

	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	Mg
AZ31	3.0	1.0	0.2	0.05	0.05	0.005	0.005	bal.
AZ61	6.0	1.0	0.2	0.1	0.1	0.005	0.01	bal.

Table 2. Mechanical properties of Mg Alloy

	Tensile strength (MPa)	Yield strength (MPa)	Elongation in 50mm(%)	Hardness (HR(c))
AZ31	290	220	15	73
AZ61	305	205	16	60

본 연구에서 실험되어진 FSW 용접 조건은 다음 Table 3과 같다.

Table 3. Friction Stir Welding Parameters

	rotation speed	Travel speed	Tool angle
AZ31	2000rpm	100mm/min	3°
AZ61	355rpm	160mm/min	3°

FSW 접합 후 접합부 조직을 관찰하기 위해서 접합 한 재료를 절단하여 마운팅 한 다음 폴리싱 연마 후 광학 현미경을 사용하여 조직을 관찰하였고 조직 관찰에 사용된 부식액은 피크린산 (picric acid) 4.2g, 초산(acetic acid) 10ml, 알콜 (methanal) 70ml, 증류수 10ml의 혼합액을 사용하였다.

결정립의 크기를 측정하기 위해서 Line-Intersector법으로 AZ31과 AZ61의 입도 분석을 하여 결정립 크기를 비교 분석하였으며 Micro-Vickers 경도기를 사용하여 각 영역의 경도를 측정하였다. 또한 AZ31과 AZ61의 기계적 특성을 분석하기 위해서 인장시험기를 사용하여 각종 인장성질을 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 접합부 비드

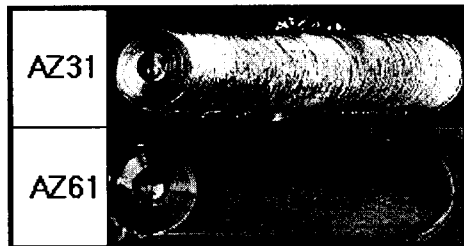


Fig 1. Surface appearance of FS butt joint

AZ31은 빠른 회전속도로 인해 표면에 약간의 burr가 생성이 되었고 표면이 약간 거칠어 진 것

을 알 수 있다. AZ61은 매우 양호한 접합부 비드를 보여주고 있다.

3.2 미세 조직 관찰

AZ31B-H24합금은 열간 압연 후 결정립 성장을 억제하기 위하여 가공 경화와 부분 어닐링 처리를 하였다. 따라서 Fig 2와 같이 전체적으로 AZ61보다는 매우 미세한 조직을 나타낸다. AZ61

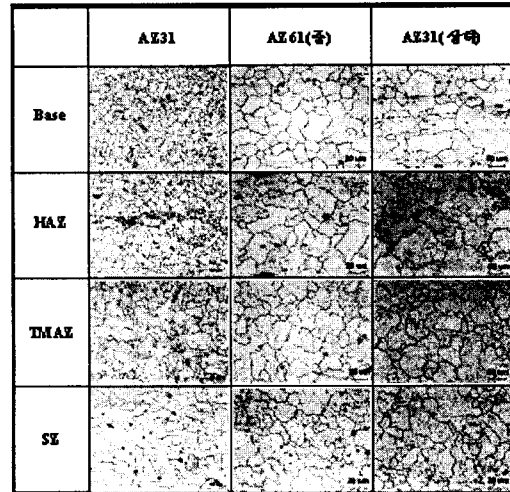


Fig 2. Microstructure of AZ31 and AZ61

은 압출공정을 거쳤기 때문에 전체적으로 조직이 매우 조대하다. 그러나 모재의 중심부는 미세한 조직을 보여주고 있다. 또한 TMAZ 영역에는 쌍정 변형이 많이 보이고 FSW에 의한 조직 변형선이 뚜렷하게 보인다. 그리고 FSW로 인해 SZ와 TMAZ에는 동적재결정에 의해 등축정 조직이 생긴 것을 확인할 수 있다.

3.3 입도 측정 및 비교

AZ31은 열간 압연 뒤 가공 경화와 부분 어닐링 처리를 함으로써 결정립 성장이 없는 재결정 상태이다. 따라서 모재는 매우 미세한 반면에 SZ 영역은 FSW 공정으로 인한 마찰열에 의해 미세한 조직이 재결정되는 과정에서 기존의 모재보다 조대한 결정립을 생성한 것이다.

AZ61 모재의 상하단은 압출로 인한 재결정이 일어난 영역이다. 그래서 AZ61의 상하단의 모재는 미세한 상태를 나타내며, 모재 중간층은 재결정이 일어나지 못한 조대한 상태를 나타내었다.

FSW 공정을 적용한 후에는 상하단의 모재는 열에 의해 조대해졌고 중간 모재는 열과 물리적인 힘을 구동력으로 재결정 단계를 거치면서 조

대해졌다. Fig3은 이러한 AZ31과 AZ61의 입도 크기를 나타낸 것이다.

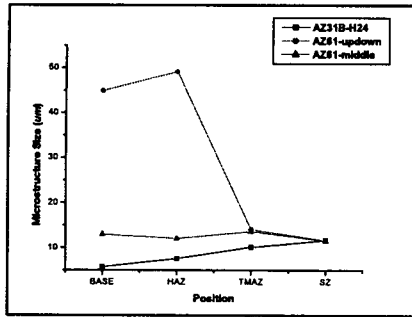
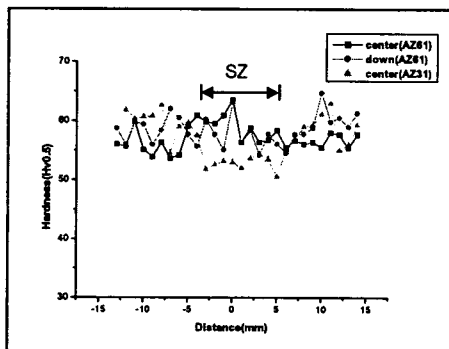


Fig3. Comparison of grain size of Mg alloys

3.4 경도 측정

AZ31은 그림과 같이 모재의 경도가 높고 SZ의 경도는 낮다. 이는 열처리로 결정립 성장이 억제되어 있는 모재가 마찰열을 받으면서 그러한 성질을 잃어버리고 재결정을 일으켰기 때문이다.



또한 TMAZ는 전위의 집적과 기계적 힘에 의한 석출물의 분해로 석출 강화 및 고용강화를 일으켜 높은 경도를 나타내었다. AZ61은 전체적으로 거의 변화가 없다. 이는 금속간 화합물 형태로 존재되어 있는 $\beta\text{-Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 이 모재에서 분산강화를 일으키지만 SZ에서는 동적 재결정으로 인해 결정립이 모재보다 미세해진다. 또한 $\beta\text{-Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 상의 분해로 인해 SZ내에 Al 고용강화가 커지게 되었다.

3.5 인장시험 평가

그림 4에서 AZ31과 AZ61의 모재와 FSW 접합부의 인장 평가한 데이터를 비교하였다. 항복강도는 AZ31의 경우 인장강도, 항복강도, 연신율 모두 모재보다 떨어지는 경향을 보이고 있다. 인장강도는 모재의 약 80%정도 나오고 있다.

Table 5. Tensile properties of Mg alloy

	YS(MPa)	TS(MPa)	EI(%)
AZ31	220	290	15
AZ31(FSW)	93	230	10.24
AZ61	205	305	16
AZ61(FSW)	-	110	1.6

AZ61의 경우도 AZ31과 마찬가지로의 경향을 보이고 있다. FSW 적용된 AZ31과 AZ61의 인장 특성은 AZ31이 인장강도와 연신율에서 AZ61보다 높은 값을 가짐을 알 수 있다. AZ61은 Al 함유량이 증가함에 따라 입계에 취약한 $\text{Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 이 결정입계에 석출되어지면서 입계가 취약해졌기 때문에 빠른 파단이 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서 제조 방법이 틀린 AZ31과 AZ61의 FSW 접합성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) AZ31과 AZ61의 FSW 접합은 AZ31이 AZ61보다 이동속도와 회전속도 면에서 더 넓은 영역에서 우수한 접합부를 형성하다.
- 2) AZ31은 열간 압연 공정에 의해 미세한 모재 조직이 조대한 SZ 조직을 가진다. 반면에 AZ61은 압출 공정상 모재 상하단은 조대한 조직을 나타냈으며 중간영역은 미세한 조직을 나타내었다.
- 3) AZ31과 AZ61의 경도를 비교해볼 때 AZ31은 결정립의 재결정으로 인한 성장으로 SZ의 경도 값은 낮아졌고 AZ61은 재결정으로 인해 조직이 미세해지면서 경도 값은 상승하였다.
- 4) AZ31에서 확인하기가 어려웠던 $\beta\text{-Al}_{12}\text{Mg}_{17}$ 금속간화합물은 Al양이 증가한 AZ61에서는 입계사이에서 용이하게 발견할 수 있었다. 이로 인해 AZ61의 인장 시험결과 연신율이 AZ31보다 낮음을 알 수 있다.

참고문헌

1. ASM Specialty Handbook : Michael M. Avedesian, Magnesium and Magnesium Alloy , 12~25
2. IWC-Korea 2002: Kazuhiro Nataka, Friction stir welding of magnesium alloy P511~515