

마찰교반 점용접(FSJ)을 이용한 Mg 합금의 접합성 평가

Evaluation of Friction Spot Joining Weldability of Mg alloys

조현진*, 김홍주*, 방국수**, 천창근*, 장웅성*

* 포항산업과학연구원(RIST) 용접센터

** 부경대학교 소재프로세스공학과

ABSTRACT In an attempt to optimize friction spot joining process of Mg alloys, effects of joining parameters such as rotating speed, plunging depth, and dwelling time on the joints properties were evaluated. Experimental tests were carried out for lap joined AZ31B-H24 sheets. A wide range of joining conditions could be applied to join Mg alloys without defects in the weld zone except for certain welding conditions with an insufficient heat input. The microstructures and hardness variations in the weld regions are discussed. For sound joints without defects, tensile shear strength of weld joints was higher approximately 116% than typical tensile shear strength of electrical resistance spot-welded joints for magnesium(Welding handbook, Vol 3, AWS).

1. 서 론

최근 한정된 에너지 자원의 효율적인 이용과 환경오염 저감에 대한 관심이 고조되어 선진국을 중심으로 각종 환경규제를 강화하여 환경오염을 억제하려는 노력과 이를 해결하기 위한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다.

자동차 메이커들은 자동차의 경량화를 통해 에너지 저감에 노력을 기울이고 있는 실정이다. 이를 위한 소재로는 현재 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 강화 플라스틱 등 많은 재료가 있지만 그 중에서도 최근 마그네슘 합금의 사용이 급증하고 있는 실정이다.

마그네슘 합금은 밀도가 알루미늄 합금의 2/3, 철 합금의 1/5 수준으로 현재까지 개발된 합금 중 가장 낮은 밀도를 가지고 있으며 여타 경량재료와 비교하여 손색이 없는 비강도 및 비탄성 계수를 지니고 있다.^{1),2)}

이러한 마그네슘 합금은 아크용접 및 RSW(Resistance Spot Welding) 등 용융 용접법으로 많은 접합을 하고 있다. 이러한 용접법은 우수한 용접속도를 얻을 수 있지만 높은 용접 잔류응력, 용융 및 재응고 과정에 동반한 용접부의 조직 변화 등의 문제점을 야기할 수 있다. 이러한 용접법은 상대적으로 고가이고 용접부내의 취약한 조

직, 기공의 존재 등이 문제가 되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근 고상 용접법인 FSW(Friction Stir Welding)의 이용이 활발히 시도되고 있다.³⁾

FSW 공정을 응용한 새로운 기술인 마찰교반 점용접(Friction Spot Joining)은 이러한 점에서 최근 주목받고 있다. 따라서 본 연구에서는 현재 일반적으로 상용되고 있는 대표적인 마그네슘 합금인 AZ계 합금(Mg-Zn-Al 합금)인 AZ31B에 대하여 최적의 FSJ 접합조건을 설정하고 접합 특성을 평가하고자 한다.

2. 사용재료 및 실험방법

2.1 사용재료

본 실험에서 사용된 마그네슘 합금은 우수한 강도와 연성을 가지는 전신재 합금으로 가공경화와 일부 어닐링 되어진 두께 1.6mm의 AZ31B-H24 합금을 사용하였으며, 이는 현재 가장 많이 사용되고 있는 Mg 합금 중 하나이다. 합금의 조성 및 기계적 특성을 Table. 1에 나타내었다.

Table. 1 Chemical compositions and mechanical properties of AZ31B

Chemical composition (weight)(%)					
Al	Zn	Mn	Si	Cu	Mg
3.28	0.84	0.34	0.06	0.01	Bal.
Tensile Strength(MPa)			Elongation(%)		Yield Strength(MPa)
290			15		220

2.2 실험방법

AZ31B-H24 소재에 대한 접합 실험은 마찰교반 점용접 장치에 솔더 직경 11mm, 핀 직경 3mm, 핀 길이 1.8mm인 툴을 이용하여 마찰교반 점접합을 실시하였다. 접합실험은 접합용 툴의 회전속도(rotating speed), 삽입된 툴이 접합부 내에서 머무르는 시간(Dwelling time), 툴의 삽입 깊이(plunging depth)를 변화시켜 결합이 없는 건전한 접합부를 얻고자 한다. 건전한 접합부의 결합 유무는 육안에 의한 접합부 외관관찰 및 접합한 재료를 절단하여 마운팅을 한 다음 폴리싱 연마 후 광학 현미경을 사용하여 접합부 조직을 관찰하였으며 접합부와 모재, 열영향부의 결정립 크기를 측정하기 위해 image analyzer(Image Pro Plus)를 이용하였다.

또한 건전한 접합부에 대하여 기계적 특성 파악을 하기 위하여 경도시험(0.3kgf, 12sec) 및 인장전단시험을 실시하였으며, 접합부 인장전단시험은 JIS Z 3140 규격에 맞추어 시편을 제작하여 실시하였으며, 미세 조직적 특징은 광학현미경(Optical Microscope)을 이용하여 미세조직을 관찰하였으며, SEM (Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 접합부 단면 및 파단면을 관찰하고 EDS (Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy)와 XRD(X-Ray Diffraction), EPMA(Electron Micro probe Analysis)를 사용하여 각 상들의 조성을 분석하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 접합부 조직관찰

Fig. 2는 두 판을 겹친 AZ31B에 마찰교반 점용접을 이용하여 회전속도 1000rpm, 삽입깊이 2.4mm, 유지시간 4sec의 조건에서 접합한 접합

부 단면을 나타낸 것이다. 접합부 단면은 일반적인 FSW 접합부와 유사하게 교반부(Stir Zone ; SZ) A, 기계적 열영향부(Thermo-Mechanically Affected Zone ; TMAZ) B, 열영향부(Heat Affected Zone ; HAZ) C, 모재부(Base Metal ; BM) D로 구분할 수 있다.⁴⁾

A영역은 접합 중 접합 솔더면과의 접촉으로 발생한 마찰열에 의해 접합부가 가열되어지고 핀에 의한 기계적인 교반으로 발생하는 소성유동으로 인한 동적 재결정이 일어나 미세한 결정립을 지니고 있다. B영역에서는 기계적인 변형에 의해 조직이 약간 연신되어졌고 C영역에서는 열의 영향을 받아 결정립이 조대해졌으며 D영역은 핀에 의한 축방향의 교반이 가장 활발하게 일어나 부분으로 다른 영역에 비해 매우 미세한 결정립을 지녔다. E영역과 F영역은 모재부로 압연되어져 제조되어진 Mg 판재이므로 외부에는 미세한 조직을 지녔으며 모재 중심부에는 일부 조대한 부분이 남아 있었다.

적정조건에서 실시한 접합실험에서 접합부의 결정립 크기 변화는 모재의 결정립 크기 약10 μ m에 비해 약 9 μ m로 약간 미세해졌고, 열영향부의 경우 약20 μ m로 조대해진 결정립을 지녔다.

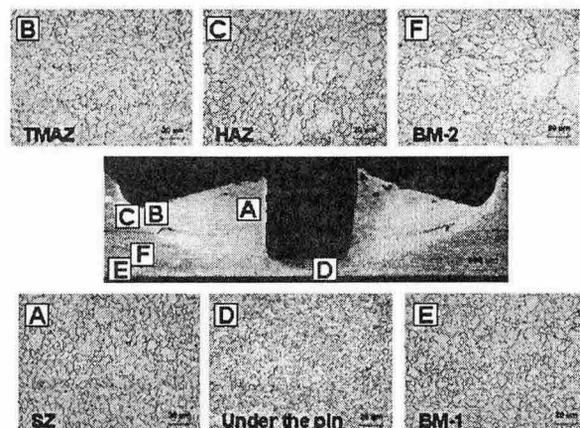


Fig. 1 Macro and microstructures of friction spot joined AZ31B joint (1000rpm, 2.4mm, 4sec)

3.2 접합부 기계적 특성

Fig. 2는 툴 회전속도에 따른 인장전단강도를 측정된 그래프이다. 1000rpm-2.4mm-4sec의 조건에서 가장 높은 인장전단강도를 지니는 것을 볼 수 있다.

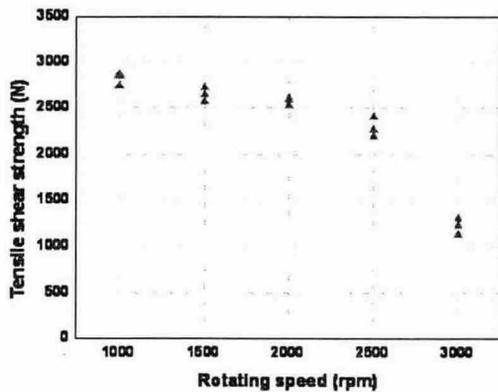


Fig. 2 Tensile shear strength of AZ31B as a function of rotating speed (1000rpm-2.4mm-4sec)

Fig. 3은 틀 회전속도에 따라 접합을 시행한 시험편 단면의 경도분포를 나타낸 것이다. 핀에 인접한 부분과 열영향을 받은 부분인 중심부에서 약 6mm 떨어진 부분에서 일부 연화가 일어남을 알 수 있다.

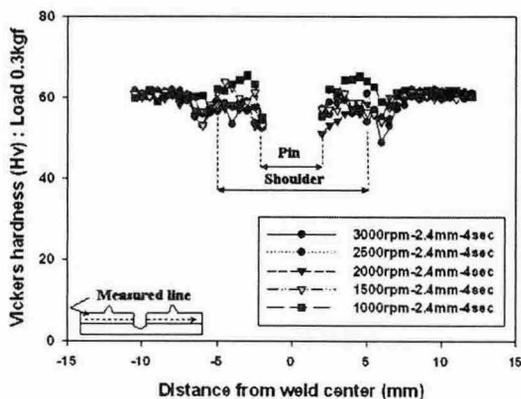


Fig. 3 Vickers hardness profile of FSJ Joint of AZ31B in cross section

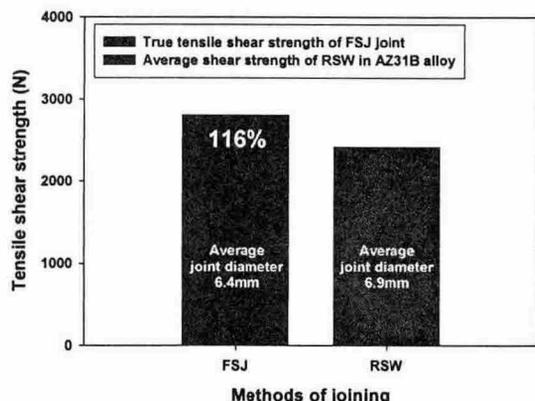


Fig. 4 Comparison of tensile shear strength of RSW joint and FSJ joint

Fig. 4는 본 실험에서의 적정조건에서 접합한 접합부의 인장전단강도와 동일두께 동일합금(AZ31B)에 대한 동일 접합부 직경을 지닌 전기저항 점용접(RSW)부의 평균 인장전단강도(Welding handbook, vol 3, AWS)⁵⁾를 비교한 것이다. 적정조건에서 마찰교반 점용접(FSJ)한 접합부의 인장전단강도는 전기저항 점용접부에 비해 116%의 인장전단강도를 지녔다.

4. 결 론

마찰교반 점용접(FSJ)를 이용하여 전신재 마그네슘 합금 AZ31B-H24에 대해 접합실험을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) AZ31B-H24 합금은 회전속도 1000rpm, 틀 삽입깊이 2.4mm, 틀 삽입 후 유지시간 4sec일 경우 가장 양호한 접합부를 형성하였다.
- 2) 접합부의 결정립 크기는 약 9 μ m로 모재 약 10 μ m에 비해 크게 변하지 않았고 열영향부는 약 20 μ m로 열영향에 의해 조대한 결정립을 지니는 것으로 나타났다.
- 3) 마찰교반 점 접합부의 인장강도는 허용 전기저항 점용접부의 인장강도(Welding handbook, vol 3, AWS)에 비해 115% 증가한 우수한 접합부가 생성되었다.

참 고 문 헌

1. H.Friedrich, S.Schumann : Research for a New Age of Magnesium in the Automotive Industry, Journal of Materials Processing Technology, 117(2001), 276-281
2. Eun-Soo Park, Jea-Woo Kim, Do-Hyang Kim : Recent Development of High Strength, High Toughness Magnesium Alloys, Journal of the Korean Foundrymen's Society, vol.18, No.2, 1998, 118-123 (in Korean)
3. H Hori, H Hino : Application of friction stir welding to the car body, Welding International 2003, 17(4), 287-292
4. M. Fujimoto, M. Inuzuka, M. Nishio and Y. Nakashima : Development of Friction Spot Joining, Quarterly Journal of Japan Welding Society, 74-4 (2004), 4-7 (in Japanese)
5. AWS : Welding Handbook, Materials and Applications - Part 1, Vol 3, 8th edition, 1996, 121-162