2004년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2004년 5월, 제주

AZ31-AZ91 이종 마그네슘합금의 마찰교반용접

Friction Stir Welding of dissimilar formed Mg alloys (AZ31/AZ91)

이창용*, 김선규*, 이원배*, 연윤모, 정승부***

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

1. 서 론

1991년 영국의 TWI(The Welding Institute)에서 처음 FSW(Friction Stir Welding)가 개발된 이후로 전 세계적으로 관심이 증가하여 꾸준한 연구가 계속되고 있다. FSW공정은 특수하게 설계된 용접툴(tool)을 특정한 회전수로 회전시키면서 용접하고자하는 재료의 용접라인에 삽입하여 용접에 필요한 마찰열과 소성변형을 발생시키고, 그 후 용접라인을 따라 툴을 이동시킴으로써 용접이 이루어지는 매우 간단한 공정이다. 또한 FSW는 기존의 용융용접법에 비하여 삽입금속이나 보호용 기체가 필요 없다는 점, 유해기체가 발생하지 않는다는 점, 에너지 소비가 적다는 점 등 매우 많은 장점을 지니고 있다. 이러한 다양한 장점과, 간단한 공정 때문에 알루미늄과 마그네슘 등 경량 구조재료용 합금을 중심으로 적용영역이 확대되고 있는 상황이다.

마그네슘합금은 실용되고 있는 구조용 금속 중 가장 가벼운 금속으로서 항공기 및 육상 수송기, 휴대용 전자제품의 몸체 등 경량화가 요구되는 많은 분야에서 널리 사용되고 있다. 일반적으로 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding, TIG) 및 GMAW(Gas Metal Arc Welding, MIG)등 아크를 이용한 용접법이 현재 마그네슘합금 접합에 사용되고 있다.[1] 하지만 높은 용접잔류응력이나, 강화상 역할을 하는 제2상의 변형 및 소멸, 주조조직의 발생 등에 의하여 그 용접특성이 크게 떨어진다. 이러한 점들을 극복하기 위하여 최근 레이저 용접, 혹은 전자빔 용접 등이 새롭게 적용되고 있지만 높은 비용, 용접부의 조직변화 등이 여전히 문제가 되고 있다. 따라서 전체적인 공정이 녹는점 이하에서 이루어지는 고상접합인 FSW의 적용이 더욱 필요하다고 할 수 있을 것이다. 현재까지 FSW를 이용한 마그네슘 합금의 접합에 관한 연구가 W.B.Lee et al.[1),2)], S.H.C. Park et al.[3)], J.A.Esparza et al.[4)] 등에 의해 보고되어 있으나 모두 동종재료의 접합에 관한 내용이다. 따라서 마그네슘합금의 사용영역을 넓히기 위해서는 이종재료의 접합에 관한 연구가 반드시 필요한 실정이라 할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 마그네슘합금 중에 가장 사용영역이 넓은 대표적인 주조재와 가공재인 AZ91과 AZ31 합금을 FSW로 이종 접합하여 다양한 용접변수들의 영향을 검토하고 양호한 접합 조건을 모색하였다. 또한 접합부의 조직을 관찰 및 분석하고 결함 등이 기계적 성질에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 Mg합금의 조성을 각각 다음의 Table1.에 나타내었다. 재료는 70mm × 140 mm의 크기, 4mm 두께의 판재로 가공되었으며, 몇 가지 조건에서 접합되었다. 본 실험에서 사용된 자세한 변수를 아래의 Table 2.에 나타내었다. 접합을 위해 사용된 툴의 직경은 10mm, 핀의 직경은 4mm이다. 접합시 AZ31을 리트리팅 사이드(retreating side)위치에, AZ91을 어드밴싱 사이드(advancing side)위치에 각각 고정한 상태로 진행하였다.

Table 1. Chemical composition of AZ31B and AZ91D Mg alloy

	Al	Zn	Mn	Si	Cu	Ni	Fe	Ca	Mg
AZ 31B	2.5-3.5	0.7-1.3	0.2	0.05	0.05	0.005	0.005	0.04	Bal.
AZ 91D	9.1	0.64	0.17	< 0.01	0.001	0.001	0.005	< 0.01	Bal.

Table 2. Experimental Conditions

Variable	Range
Tool to work piece (°)	3
Tool rotating speed (rpm)	1250, 2500
Pin inserting depth (mm)	3.92 ~ 3.95
Plate travel speed (mm/min.)	32, 61, 87,127

접합 후 광학현미경(OM:Optical Microscope)과 주사전자현미경(SEM:Scanning Electron Micro scope)을 사용하여 모재와 접합부의 미세조직을 관찰하였다. 조직관찰용 시편은 용접부의 단면을 연마한 후 에틸알콜(ethyl alcohol) 70ml, 증류수(distilled water) 10ml, 아세트산(acetic acid) 10ml, 피크릭 산(picric acid) 4.2g을 혼합한 용액에 약 20초간 에칭(etching)되었다. 용접부 내의 상 분석을 위하여 EDS(Energy Dispersive Spectro scopy) 및 EPMA(Electron Probe Micro Analyser)를 사용하였다.

접합부의 기계적 특성을 알아보기 위하여 접합 시편 단면의 경도를 측정하였다. 이때 하중은 100gf, 측정시간은 10초로 하였다.

3. 결 과

접합 후 시편의 상·하부 외관 상태를 관찰한 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 다양한 실험 조건 중 툴 회전속도 2500rpm, 용접속도 32, 61, 87mm/min. 조건에서 양호한 외관을 얻을 수 있었다. Fig. 1에서 advancing side와 retreating side의 구분 없이 burr가 생성된 것을 확인할 수 있고, 용접속도가 가장 빠른 조건에서 burr의 생성량은 가장 적었다.

Fig. 2에 시편을 용접방향과 수직한 방향으로 절단하여 그 단면의 마크로조직을 나타내었다. 용접 후의 외관과는 달리 내부에 큰 결함이 존재하는 것을 알 수 있었다. 용접속도 61mm/min.(Fig.2-b)의 조건에서 결함의 크기가 가장 작았으나, 2500rpm의 경우 전체적으로 교반이 부

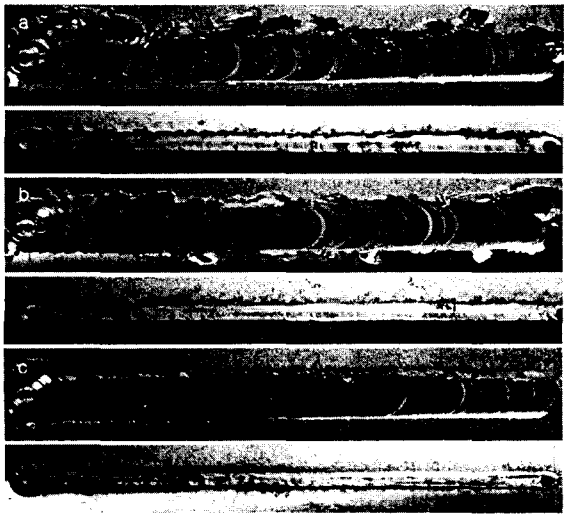

Fig. 1 External shape of FSWelded joint with the plate travel speed a) 32mm/min., b) 61mm/min., c) 87mm/ min.

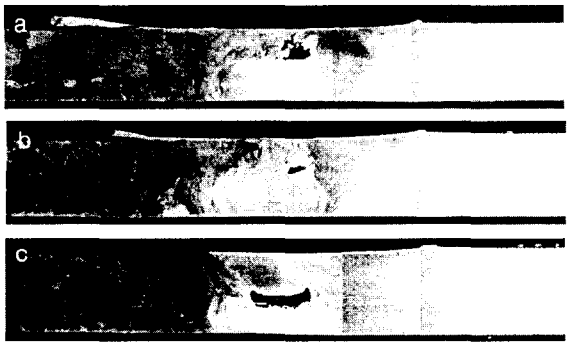

Fig. 2 Cross-sectioned structures of the joints with welding speed a)32mm/min. b)61mm/min. c)87mm/min.

족한 듯하고[4], 증가된 툴 회전속도에서의 추가실험이 필요한 것으로 사료된다.

Fig. 3에 접합부 각 영역의 미세조직을 나타내었다. Fig.3-a)는 advancing side에 위치한 AZ91 마그네슘합금으로서 접합 시 열이나 기계적 영향을 전혀 받지 않은 모재조직이다. 그림에서 알 수 있듯이 α마그네슘 기지에 β상들이 골고루 분포하고 있는 전형적인 AZ91합금의 조직으로 나타났다. Fig.3-f)는 retreating side에 위치한 AZ31합금의 모재를 나타낸 것으로 가공에 의해 잘게 부서진 미세한 결정립들로 이루어진 것을 알 수 있다. Stir Zone은 retreating side에 위치한 AZ31합금이 주로 차지하고 있고(Fig. 3-c), 그 주변으로 AZ31과 AZ91합금이 겹겹이 쌓여있는 층상조직을 나타내었다(Fig.3-b). 용접속도가 감

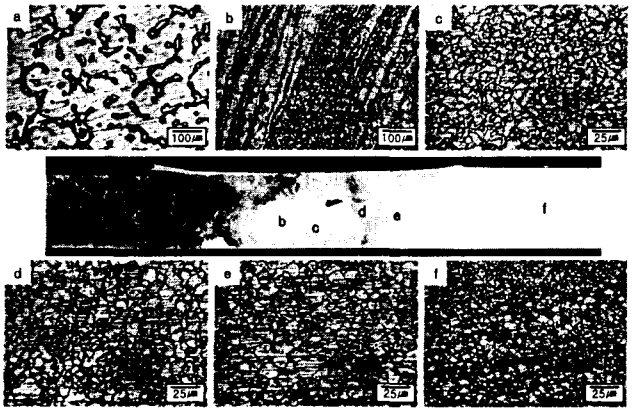

Fig. 3 Microstructures of FSWelded joint at the plate travel speed of 61mm/min. a) BM of the advancing side b) SZ 1 c) SZ 2 d) TMAZ e) HAZ f) BM of the retreating side

소할수록 스터존에서 AZ31합금이 차지하는 영역이 미세하게 증가하는 경향을 나타내었다. 한편 AZ31 합금 조직에서 전체적으로 쌍정을 관찰되었고, 특히 TMAZ (Thermal Mechanical Affected Zone, Fig.3-d)와 HAZ(Heat Affectde Zone, Fig.3-e)에서 그 양이 많은 것을 알 수 있었다.

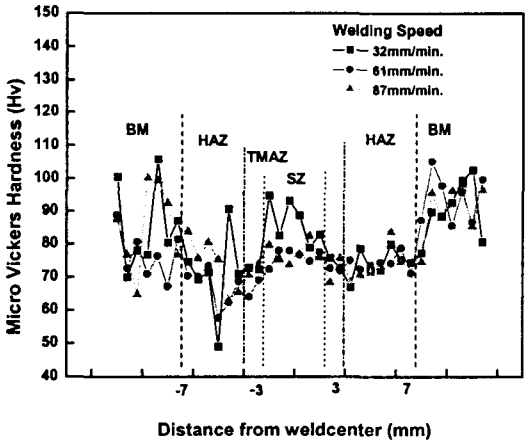

Fig. 4 Hardness distribution with welding speed

Fig. 4에 용접속도에 따른 경도시험 분포를 나타내었다. 전체적으로 용접속도는 미세 경도 분포에 큰 영향을 미치지 않은 것을 실험결과 알 수 있었다. advancing side인 AZ91쪽 모재에서는 매우 불규칙한 분포를 보였는데, 이는 미세조직에서 관찰되었던 α상과 β상, 그리고 공정상의 경도가 각각 다른 값을 가지기 때문이다. 측정결과 β상의 경도가 가장 높았고, 이 부분의 알루미늄의 함량은 약 30~36at% 정도임을 EDS분석결과 알 수 있었다. retreating side의 AZ31은 모재와 열영향부에 비해 높은 경도값을 보였는데 이것은 입자미세화에 의한 강화효과[3] 때문으로 사료된다. 한편, 스터존의 경도값에서 32mm/min.의 용접속도일 경우 약간 불규칙한 값을 보였는데, 이것은 낮은 용접속도에서 retreating side의 AZ31합금이 스터존으로 더욱 많이 포함된 영향 때문으로 사료된다.[2]

4. 결 론

이종 마그네슘 합금인 AZ91D와 AZ31B를 제한된 실험조건에서 friction stir welding한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 2500rpm의 툴 회전속도에서 용접한 결과, 용접 후의 양호한 외관과는 달리 단면 미세조직 관찰결과 모든 조건에서 비교적 큰 결함이 발견되었다.

2) 미세조직 관찰결과 접합부의 스터존은 retreating side 에 위치한 재료로 대부분 채워짐을 알 수 있었고, 용접속도가 느릴수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷해졌다.

3) 경도 시험결과 스터존의 경도값은 용접속도에 거의 영향을 받지 않았고, 모재에 비해 낮은 값을 가졌다.

4) 전체적으로 2500rpm의 툴 회전속도는 충분한 교반을 유도하기에는 부족한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. W.B.Lee, Y.M.Yeon and S.B.Jung : Joint properties of friction stir welded AZ31B-H24 magnesium alloy, Material Science and Technology, vol.19 (2003) 785-790
2. W.B.Lee, J.W.Kim, Y.M.Yeon and S.B.Jung : The Joint Characteristics of Friction Stir Welded AZ91D Magnesium Alloy, Material Transactions, 44-5 (2003) 917-923
3. S.H.C.Park, Y.S.Sato, H.Kokawa : Effect of micro-texture on fracture location in friction stir weld of Mg alloy AZ61 during tensile test, Scripta Materialia vol.49 (2003) 161-166
4. J.A.Esparza, W.C.Davis, E.A.Trillo, L.E.Murr : Friction-stir welding of magnesium alloy AZ31B, Journal of materials science letters, Vol 21 (2002) 917-920