

AZ91 마그네슘 합금과 마그네슘 합금기 복합재료의 이종마찰교반접합

Dissimilar Friction Stir Welding of a Magnesium-Base Metal Matrix Composite and a Monolithic Magnesium Alloy

이 창용*, 이 원배*, 연 윤모**, 장 응성***, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

*** 포항산업과학 연구원

1. 서 론

1991년 마찰교반접합(FSW, Friction Stir Welding)이 영국 TWI에 의해 개발되어 특허가 출원된 후, 액상 상태가 아닌 고상 상태에서 접합이 진행됨으로서 이전의 용융 용접기술이 갖고 있는 문제점을 해결해 줄 수 있는 기술로 평가되고 있다. 또한 이 FSW는 매우 낮은 에너지 소모와 유해가스를 발생하지 않는다는 점에서 현대 사회의 요구에도 부합한다고 볼 수 있다.

마그네슘과 마그네슘 합금은 낮은 밀도와 높은 비강도로 인해 중량감소가 절실히 요구되는 분야에 최근 적용이 증가되어 구조재로서의 중요성이 날로 부각되고 있다. 하지만 마그네슘 합금은 용점이 비교적 낮고, 고온에서 산소와의 반응도가 아주 활발하여 온도에 따른 사용의 제약을 많이 받는 금속이다. 따라서 구조재 혹은 더 넓은 응용분야를 갖기 위해 마그네슘합금에 세라믹과 같은 고온 안정형의 강화상을 첨가한 복합재료의 개발에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

복합재료가 실재로 구조재 혹은 부품의 일부로 사용되기 위해서는 동종 혹은 이종재끼리의 접합이 반드시 요구된다. 하지만 기존의 용융용접법에 의한 복합재료의 접합은 접합부에서의 강화상의 편석 혹은 반응 등에 의해 거의 불가능하다고

할 수 있다.

마찰교반접합은 피접합재의 용융 없이 접합이 이루어지는 고상상태 접합방식이므로 상기의 다양한 문제점들이 발생하지 않는 양호한 접합이 가능하다. 현재 다양한 알루미늄합금 복합재료를 이용한 마찰교반접합이 연구·보고 되고 있다. 이들 자료에 의하면 양호한 접합부를 얻기 위해서는 접합부에서의 강화상의 분포, 기지상의 변이, 기지와 강화상과의 반응, 접합틀의 마모 등의 몇 가지 문제점을 반드시 해결해야 한다고 대략적으로 요약이 가능하다.

본 연구는 이와 같은 알루미늄합금 복합재료의 마찰교반접합 결과를 참고로 하여 가장 널리 사용되는 AZ91 마그네슘 합금에 SiCp를 약 10wt% 첨가한 복합재료를 제작한 후 최초로 마그네슘합금기 복합재료와 AZ91 마그네슘 합금과의 이종 마찰교반접합을 시도하였다. 다양한 접합 변수에 따라 접합부의 미세조직 변화를 분석하고 기계적 성질을 평가하여 최적의 접합 조건을 모색하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 AZ91 마그네슘 합금의 조성을 Table 1에 나타냈다. 10wt%의 SiCp가 함유

된 AZ91합금기 복합재료(MMC: Metal Matrix Composite)는 RCM(Rotating Cylinder Method) 방법으로 제작되었다. 상업용 AZ91HP 마그네슘 합금이 기지로 사용되었고, 순도 98.5%, 평균 결정립 크기 약 6 μ m의 β -SiC 파티클(SiCp)이 강화상으로 사용되었다. 주조 후 bulk 형태의 재료는 EDM(Electro Discharge Method) 방식으로 70mm \times 70mm의 크기, 4mm 두께의 판재로 가공되어 접합에 사용되었고, AZ91 마그네슘 합금을 retreating side에, 복합재료를 advancing side에 위치시켰다. 틀 회전속도는 1250 rpm 으로 고정하고 용접속도를 15, 22, 32mm/min. 의 세 조건으로 실험을 실시하였다.

Table 1. Chemical composition of AZ91 Mg alloy

Al	Mn	Ni	Cu	Zn	Ca	Si	K	Fe	Mg
9.1	0.17	0.00	0.00	0.64	0.01	0.01	0.01	0.00	Bal
		1	1	<	<	<	<	1	

모재부터 접합부까지 각 영역의 미세조직을 관찰하기 위해 광학현미경(OM: Optical Microscopy)과 주사전자현미경(SEM: Scanning Electron Microscopy)을 사용하였다. 미세조직 관찰을 위한 시편은 부식은 에틸알콜, 증류수, 아세트산, 피크릭 산의 혼합용액에 약 20초간 실시하였다. 모재와 접합부의 상분석은 EDS(Energy Dispersive X-ray Spectrometer)를 이용하여 실시하였다. 접합부의 기계적 특성을 평가하기 위해 Vickers 경도 시험을 실시하였고, 접합방향과 수직인 방향으로 시편을 절단한 후 100g \cdot f의 하중으로 10초 동안 실시하였다.

3. 실험 결과

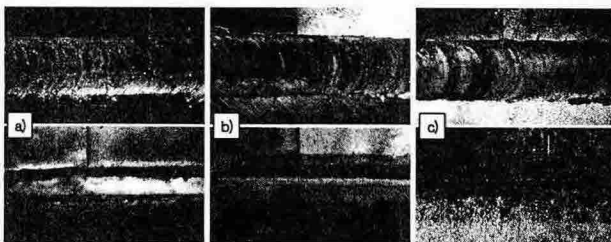


Fig. 1 External shape of FSWelded joint with the plate travel speed a) 15mm/min., b) 22mm/min., c) 32mm/ min.

접합 후 시편의 상·하부 외관 상태를 관찰한 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 실험에 적용된 세가지 접합속도 조건에서 양호한 상·하부 형상을 얻을 수 있었다. Fig. 1에서 advancing side와 retreating side의 구분 없이 burr가 생성되지 않았음을 관찰할 수 있었다.

Fig. 2에 시편을 접합방향과 수직인 방향으로 절단하여 그 단면의 마크로 조직을 나타내었다. 용접 후의 외관과는 달리 접합속도 15, 32mm/min. 에서는 weld nugget에 미세한 결함이 존재하는 것을 알 수 있었다. 접합속도 22mm/min.(Fig.2-b)의 조건에서는 결함이 없는 양호한 접합결과가 얻어졌다. 틀 회전속도를 고정된 상태이므로 접합속도의 변화가 결함의 존재 유무를 결정하는 중요한 변수임을 확인하였다. 결함은 fig.2-a)와 c)에서 공통적으로 nugget의 오른쪽 윗부분에 존재하였고, 접합속도가 증가할수록 nugget의 크기가 작아지는 경향을 나타내었다. 일반적으로 이종재료의 접합의 경우 Stir Zone은 retreating side의 재료에 의해 주로 채워지는 것으로 보고 되고 있는데, 본 실험에서는 확실한 경향이 관찰되지 않았다. 그것은 두 재료의 기지가 유사한 합금이기 때문으로 사료된다.

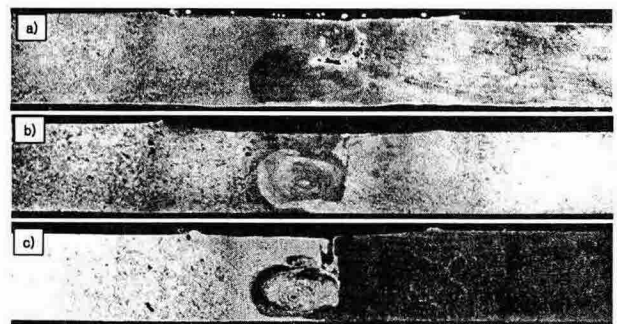


Fig. 2 Cross-sectioned structures of the joints with welding speed a)15mm/min. b)22mm/min. c)32mm/min.

다양한 실험 변수 하에서 접합이 실시되었지만 틀 회전속도 1250rpm, 용접속도 32mm/min.의 조건에서 가장 양호한 접합이 이루어졌고, 다른 변수에서는 접합이 이루어지지 않았다. 따라서 상기조건으로 얻어진 가장 양호한 결과를 이용하여 접합부 각 영역의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 결과를 fig. 3에 나타내었다. Fig. 3-a)는 복합재료의 모재로서 마그네슘기지에 SiC 강화상 입자들이 불규칙하게 분포하고 있었다. 이러

한 불규칙한 분포는 기계적·열적 교반영역 (TMAZ:Thermal Mechanical Affected Zone)에서 틀의 회전 방향으로 강화상들의 배열이 변화한 것을 관찰할 수 있었고(b), 교반영역(SZ:Stir Zone)에서는 모재와 비교하여 더욱 미세하고 균일하게 강화상들이 분포하고 있었다. Fig.3-f)는 retreating side에 위치한 AZ91 마그네슘합금으로서 접합 시 열이나 기계적 영향을 전혀 받지 않은 모재조직이다. 그림에서 알 수 있듯이 α 마그네슘 기지에 β 상들이 골고루 분포하고 있는 전형적인 AZ91합금의 조직으로 나타났다.

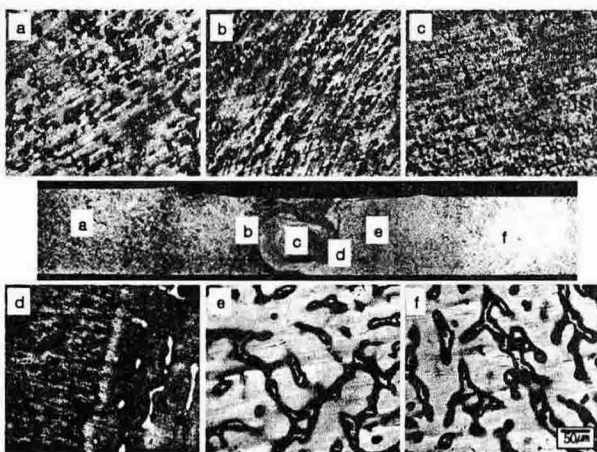


Fig. 3 Optical microstructures of FSWelded joint at the welding speed of 22mm/min.
 a) BM of MMC b) TMAZ of advancing side
 c) SZ d) boundary between SZ and AZ91 e) HAZ of the retreating side g) BM of AZ91

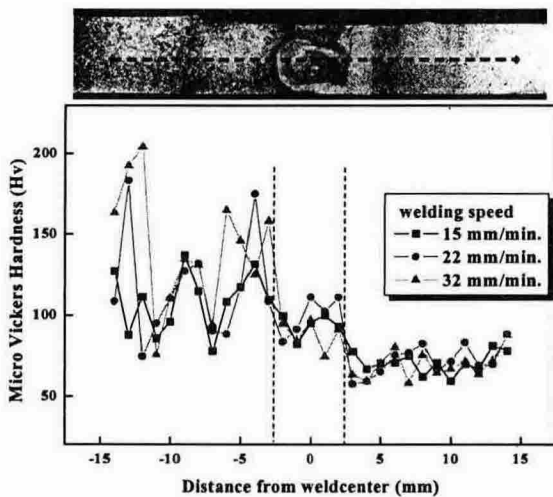


Fig. 4 The hardness distribution of near the weld zone

접합부 기계적 특성 평가의 일환으로 마이크로 비커스 경도 시험을 실시하였고, Fig. 4에 결과를 나타내었다. Advancing side에 위치한 복합재료 영역에서는 기지상과 강화상의 경도차로 인해 매우 불규칙한 경도 분포를 나타내고 있고, re-treating side에 위치한 AZ91 Mg 합금의 경우 α 기지와 β 석출상의 고른 분포로 인해 상대적으로 균일한 경도분포를 나타내고 있다. 교반부에서는 조건별로 다소 차이가 관찰되었으나, 접합속도의 고저에 따른 직접적인 연관성은 없는 것으로 나타났다.

4. 결 론

AZ91 마그네슘 합금에 SiCp를 약 10wt% 첨가한 복합재료와 AZ91 마그네슘 합금의 이중 마찰교반 접합을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 다양한 실험 변수들 중 틀 회전 속도 1250rpm, 용접속도 22mm/min. 조건에서 결함이 없는 가장 양호한 접합 결과를 얻을 수 있었다.
- 2) 미세조직 관찰결과 AZ91 Mg 합금 모재는 α -Mg, β (Al₁₂Mg₁₇) 금속간 화합물로 이루어져 있고, 복합재료는 Mg합금 기지위에 강화상인 SiCp가 매우 불균일하게 분포하고 있었다. SZ에서는 SiCp의 분포가 매우 미세하고 균일한 형태로 변화하였다. 이것은 접합 시 발생한 틀의 교반에 의한 결과로 사료된다.
- 3) 경도 시험결과 평균적인 경도값은 advancing side에 위치한 복합재료 - 교반영역 - retreating side에 위치한 AZ91 Mg 합금 순으로 감소하였고, 접합속도에 따른 특별한 경향은 관찰되지 않았다.

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