Al 합금의 마찰교반압접성에 관한 기초 연구
Fundamental research on Friction stir weldability of Al alloy

이원배*, 연윤모, 정승부***

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대 자동화용접과

1. 서 론

마찰교반접합(Friction stir welding)은 알루미늄합금을 접합하기 위해 영국 TWI에서 개발된 새로운 기술이다. 이 기술은 접합하고자하는 두 모재의 접합면에서 발생하는 마찰열을 이용하여 계면변형, 열발생 및 고상확산 등에 의해 접합이 완성된다.[1)]

일반적으로 열처리형 알루미늄합금은 용융용접으로 접합을 할 경우 계면에서의 취약한 주조조직 및 기공, 고온균열 등의 이유로 접합이 매우 곤란하다고 알려져 있다[2)]. 또한 석출경화형 (6000, 7000, 2000등)합금의 경우 강화상으로 기지에 석출시킨 석출상이 용접 시 발생하는 열에 의해 모재에 재고용되어 계면근방이 매우 연화되어 용접부가 취약해진다. 따라서 이러한 문제점의 해결을 위해서는 용융용접이 아닌 고상상태에서 접합을 실시하여 문제점을 최소화해야한다. 그러나 기존의 고상용접법인 마찰압접(Friction Welding)의 경우 접합제의 형상이 봉상 등 회전체에 국한된 단점을 가지고 있어 실용적인 측면에서 한계가 있었다. 이러한 문제를 해결할 수 있는 새로운 개념의 접합법이 마찰교반압접법이다.

알루미늄합금은 경량이며 강도가 높고 뛰어난 내부식성 및 재활용이 가능한 재료이기 때문에 현재 그 응용분야가 매우 증가되고 있는 실정이다. 특히 열처리형 석출경화형 합금인 6000, 7000계 합금의 경우 항공우주분야, 철도차체, 선박본체 등에 사용되고 있다.

따라서 본 실험에서는 6005, 7005 알루미늄을 합금을 이용하여 마찰교반압접을 행한 후 접합부의 미세조직 및 기계적인 특성을 평가 등 기초적인 연구를 행하였다.

2. 실험방법

본 실험에 사용된 재료의 화학적 조성은 Table.1 에 나타내었다. 두 재료는 모두 가로 140mm, 세로 70mm, 두께 4mm를 사용하였으며 접합은 압연방향에 수평한 방향으로 접합을 행했다. 접합을 하기 전 시편은 aceton을 이용하여 세척을 한 후 milling machine을 개조한 접합장비를 이용하여 접합하고자하는 재료를 크램프로 고정한 후 재료을 이동시키는 방법으로 접합을 행하였다. 접합을 한 후 시편은 디지털 카메라를 이용하여 마크로 이미지를 촬영하여 거시적인 접합성을 파악하였으며, 미세조직은 접합면에 수직인 단면을 광학사진을 이용하여 접합면 근방의 미세조직을 확인하였다. 또한 경도 시험을 통해 미세조직과 경도와의 관계를 알아보았다. 기계적 특성시험은 3점 굽힘시험을 통해 접합제의 결함 유무를 확인하였으며, 인장시험을 통해 인장강도값을 알아보았다. 인장시험을 한 후 계면은 SEM을 이용하여 파단 메카니즘 및 개재물의 성분분석을 행하였다.

성분	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zr	Zn	Ti	Pb	Bi	Al
6005(T6)	0.799	0.514	0.001	0.031	0459	0.006	-	0.005	0.007	-	-	Bal.
7005(T5)	0.185	0.151	0.022	0.410	1.349	0.104	0.132	4.506	0.011	-	-	Bal.

Table 1 Chemical composition of joints specimens

3. 실험 결과

시편을 수직한 면으로 절단한 후 시편의 macro 및 micro 조직사직을 Fig.1에 나타내었다. 마찰교반 접합한 재료의 접합부 근방의 조직은 크게 모재부(Base metal), 열영향부(HAZ), 열 및 기계적인 영향부(TMAZ), 교반부(S,Z)로 나뉜다. Fig.1 에 나타난 것처럼 S.Z 영역에서는 pin의 이동에 관련한 상대적으로 대칭적인 교반 조직를 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 접합하는 동안 발생하는 열과 소성변형에 의해 매우 미세한 등축 입자 구조를 띠고 있는 재결정 조직이 생성됨을 알 수 있다.

S.Z 영역 외부에는 거시적으로 원래 모재의 입자가 upsetting 된 조직이 존재함을 알 수 있다. TMAZ영역은 접합 시 발생하는 열과 소성변형에 기인한 metal flow가 발생하여 pin 의 회전방향과 관련한 극심하게 연신된 조직을 나타내고 있음을 알 수 있다. 즉 pin의 회전방향과 용접재료의 이동방향이 수직인 면 (shearing side)에서 극심하게 연신 되지만 수평인 면 (flowing side)에서는 이러한 조직의 변화가 완만함을 알 수 있다.

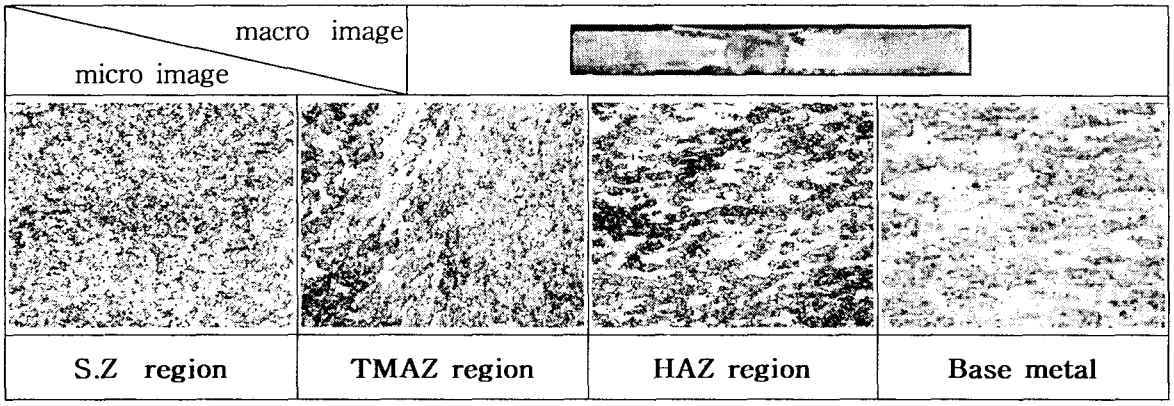
HAZ부의 경우 모재와 광학적으로 거의 유사한 입자구조를 나타내고 있다. 따라서 조직사진을 통해서는 거의 모재 와 구별할 수가 없기 때문에 경도 시험을 통해서 HAZ부의 위치를 파악할 수 있다. 이는 HAZ부에서는 발생하는 열 및 기계적인 조건이 입자성장 및 거시적인 조직의 변형을 주기에는 부족하기 때문이라 사료된다.

FIg.2 에서는 6005, 7005 합금의 접합면에서 모재방향으로 경도값을 측정한 결과이다. 6005의 경우 S.Z 및 TMAZ 영역에서는 모재에 비해 경도값이 저하되었지만 소성변형에의해 HAZ부에 비해 약간 상승한 경향을 알 수 있다. 이는 HAZ부에서는 용접열에 의해 재료가 연화되었기 때문이라 사료된다. 또한 이러한 연화역의 폭은 약 15mm 이내로 기존의 MIG등에 의해 접합한 경우에 비해 그 폭이 매우 좁아짐을 알 수 있다[3].

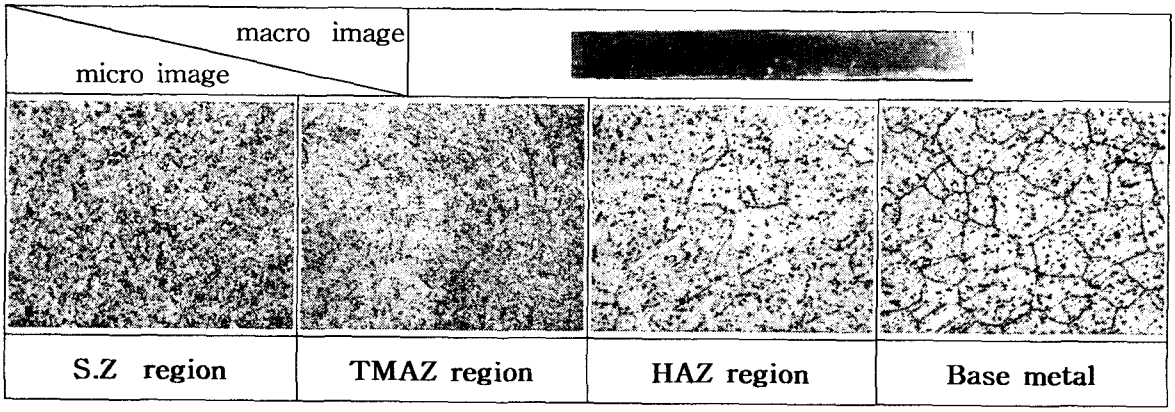
7005 합금의 경우 6005 합금과 거의 비슷한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 그러나 S,Z 및 TMAZ 영역내에서 6005와는 다르게 HAZ부와 경도값에서는 큰 차이는 존재하지 않음을 알 수 있으며 연화폭은 거의 20mm이내임을 알 수 있다.

4. 참고 문헌

1. C. G. Rhodes et al: Scripta Materialia, vol.36, No.1, pp 69-74, (1997)
2. " Aluminum Alloys" , Welding Handbook Vol 3,8 ed., AWS pp1-45 (1997)
3. Hisanori OKAMURA et all: J. of Japan institute of light metals, Vol50, No.4, pp166-272 (2000)

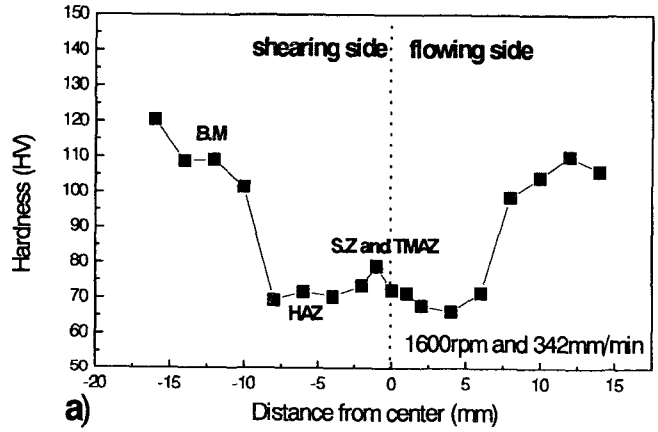


a) 6005



b) 7005

Fig. 1 Macro and micro structure of FS welds on the cross section a) 6005 alloy, 1600 rpm and 342 mm/min b) 7005 alloy, 1600rpm and 267 mm/min



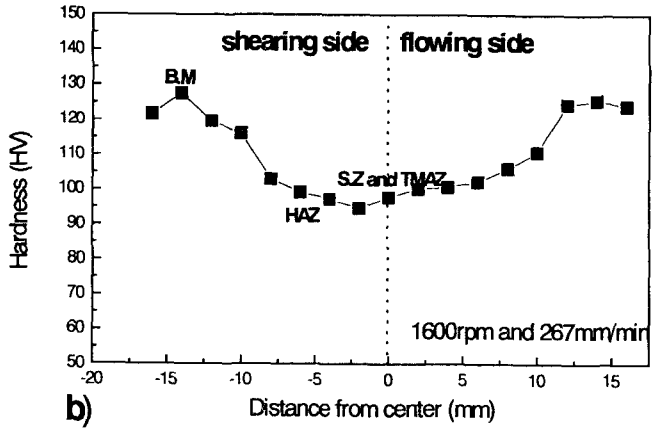


Fig.2 hardness distribution of FS welds at near interface a) 6005 b) 7005