

마찰교반용접한 6061 알루미늄 합금의 후 열처리에 따른 접합특성 평가

The Evaluation of Joints Characteristics of Friction Stir Welded 6061 Al Alloy with PWHT(Post Welding Heat Treatment)

장 형선*, 이 원배*, 연 윤모**, 장 응성***, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재공학과

** 수원과학대학 자동화시스템과

*** 포항산업과학 연구원

1. 서 론

마찰교반용접(FSW, Friction Stir Welding)은 영국 TWI에 의해 개발되어 특허가 출원된 이래 90년대 중반부터 산업에 적용되었다는 점에서 짧은 시간동안에 실용화가 이루어진 괄목할 만한 용접기술이라 할 수 있다. 전통적으로 Al 합금의 용접시 MIG(Metal Inert Gas) 나 TIG(Tungsten Inert Gas)와 같은 불활성가스를 이용한 용접이 주로 이용되어 왔으나 이들 용접기술은 용접부 표면문제, 변형, 결함등으로 인하여 Al 합금의 구조물 적용에 큰 문제점이 야기되었다. 따라서, 마찰교반용접은 고상상태의 접합기술로써 이전의 용융용접기술의 문제점을 완전하게 해결 할 수 기술로 각광 받고 있다.

Al 합금중 6XXX계열(Al-Mg-Si)의 합금은 압출성, 단조성등의 성형성이 우수하여 봉재, 판재, 각재, 관재 등으로 가공되어 자동차등의 수송기계부품에 널리 사용되고 있으며, 2XXX(Al-Cu) 계열에 비해 강도는 낮지만 가공 후 열처리에 의해 강화되는 대표적인 석출경화형 합금이다.

본 연구에서는 6XXX계열 Al 합금중 6061 Al합금을 선택하여 동일조건(틀 회전속도, 이송속도) 하에서 후열처리(PWHT, Post Welding Heat Treatment)하여 용접부 각 부분의 기계적 특성과 미세조직의 상관관계에 대해 연구하였다.

2. 실험 방법

2.1 시편제작

본 실험에 사용된 6061Al 합금의 화학조성은 Table. 1과 같다.

Table. 1. The chemical composition of 6061 Al alloy

Elements	Si	Mg	Fe	Cu
wt%	0.4~0.8	0.8~1.2	~0.7	0.15~0.4
Elements	Cr	Mn	Al	
wt%	~0.35	~0.15	Remainder	

6061Al 합금을 140mm×70mm×4mm의 판재로 가공하여 마찰교반용접법을 이용하여 맞대기용접을 시행하였다. 이때 틀의 회전속도는 1600rpm으로하고, 이송속도는 267mm/min로 고정하여 후열처리 할 시편을 제작하였다. 후 열처리 조건은 시효 처리만 시행한 조건과 용체화 처리 후 시효 처리한 조건으로 나누었다. 용체화 처리는 560℃에서 1시간 동안 시행하였고, 시효처리는 170℃에서 각각 30', 1hr, 2hr, 5hr, 10hr동안 시행하였다. Fig. 1은 개략적인 후열처리 과정을 나타내고 있다

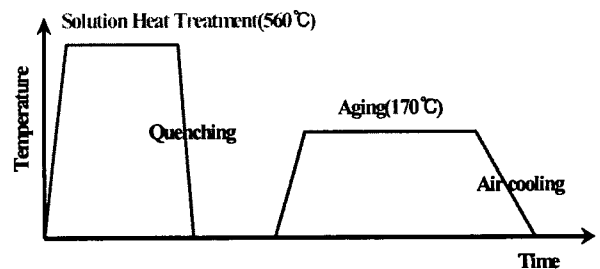


Fig. 1. The schematic diagram of PWHT(Post Welding Heat Treatment)

2.2 미세조직 관찰 및 기계적 특성 평가

마찰교반용접을 실시한 6061Al합금의 기계적특성과 미세조직과의 관계를 알아보기 위해 용접부를 중심으로 좌우로 각각 20mm를 절단 후 분석시편을 제작하였다. 이렇게 준비된 시편을 폴리싱 후 기계적특성을 알아보기 위해 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 경도를 측정하였으며, 미세조직 관찰을 위해 광학현미경(OM, Optical Microscopy)과 TEM(Transmission Electron Microscopy)을 사용하였다.

유는 툴의 교반에 의한교반부에서 동적 재결정이 발생하여 전위 cell 및 고경각입계가 생성되기 때문이다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 6061 Al 합금을 마찰교반용접 후 열처리전의 경도 값을 나타내고 있다. 이때 모재 부분(a)에 비해 상당히 연화된 부분(용접부 중심에서 약 8~9mm)을 볼 수 있다. 모재 부분의 경도는 약 90~93Hv, HAZ(b)는 약 65Hv, SZ(c)는 약 75Hv로 측정되었다.

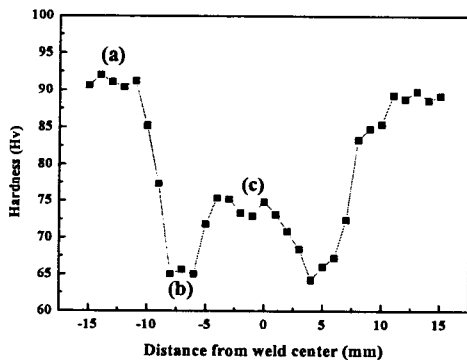


Fig. 2. The hardness distribution of near the weld zone of as-welded 6061 Al

Fig. 3은 서로 다른 경도값을 나타내는 각 영역(a, b, c)에서 TEM을 이용한 미세조직의 변화를 나타낸 그림이다. 모재 (a)의 경우 매우 높은 밀도의 미세한 석출물들이 관찰됨을 알 수 있다. HAZ(b)는 마찰열에 의해 미세한석출물이 조대한 rod-shape의 석출물로 성장하였으며, 이 조대한 석출물로 인해 가장 낮은 경도분포를 갖는 것으로 사료된다. SZ(c)에서는 용접열에 의한 석출물이 모재에 고용되어 석출물이 관찰되지 않았다. 하지만 SZ에서 HAZ보다 높은 경도값을 갖는 이

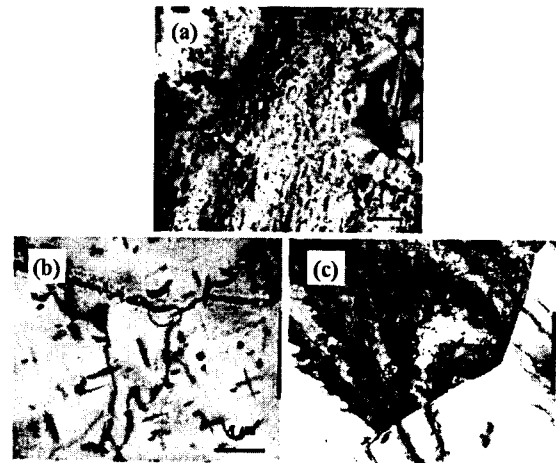


Fig. 3. TEM Microstructures near the weld zone of as-welded 6061Al (a) base metal (b) HAZ(heat-affected zone) (c) SZ(stir zone)

Fig. 4는 6061Al 합금을 마찰교반용접 후 1시간 동안 용체화 처리후 170℃에서 시효 시간의 변화에 따른 용접부 경도 측정 결과이다. 용접후 용체화 처리를 한 경우 접합부만 근방의 경도값이 균일하게 분포하고 있음을 관찰하였다. 이는 용체화 조건에서 용접부 근방의 석출물들이 모재에 고용되었기 때문으로 사료된다. 그러나 시효처리 시간이 증가함에 따라 경도값이 회복됨을 관찰할 수 있었고 10시간 시효처리를 한 경우에는 100~110Hv의 경도값을 측정할 수 있었다.

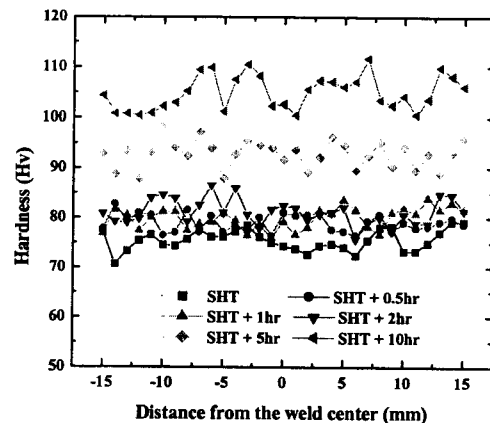


Fig. 4. The hardness distribution near the weld zone with various condition heat treatment

Fig. 5는 마찰교반용접한 6061Al 합금의 열처리 후 SZ의 TEM사진이다. Fig. 3의 경우와는 다르게 100nm 크기의 구상 석출물이 관찰 되었다. 시효시간이 증가함에 따라 석출물의 밀도가 증가함을 알 수 있다. 이들 석출물의 증가로 인해 경도가 증가한 것으로 사료된다.

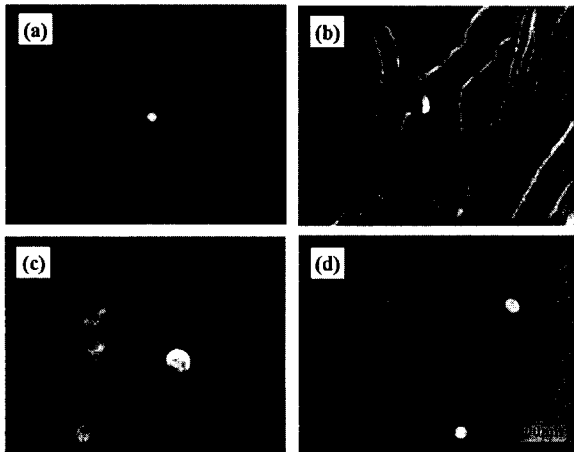


Fig. 5. The TEM microstructures of stir zone with various heat treatment conditions
(a) SHT (b) SHT+1 (c) SHT+5 (d) SHT+10

4. 결 론

석출경화형 합금 6061Al의 열처리 전·후 용접부의 경도 분포와 미세조직을 관찰하여 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- 1) 후 열처리를 하지 않은 6061Al 합금의 접합부에서는 석출물의 고용 및 조대화에 의해 연화 영역이 발생하였다.
- 2) 용체화처리후 시효처리를 한 용접부는 시효시간이 증가함에 따라 경도분포가 용접직후 이상으로 회복됨을 알 수 있었다.
- 3) SZ의 경도의 회복은 마찰열에 의해 용해되었던 석출물이 시효처리를 통한 재석출에 기인한다.

참고문헌

1. YUTAKA S. SATO, HIROYUKI KOKAWA, MASATOSHI ENOMOTO, and SHIGETOSHI JOGAN : Microstructural Evolution of 6063 Aluminum during Friction-Stir-Welding,

Metallurgical And Materials transactions A, 30A (1999) 2429-2437

2. YUTAKA S. SATO, HIROYUKI KOKAWA, MASATOSHI ENOMOTO, SHIGETOSHI JOGAN, and TAKENORI HASHIMOTO : Precipitation Sequence in Friction Stir Weld of 6063 Aluminum during Aging, Metallurgical And Materials transactions A, 30A (1999) 3125-3130
3. K. N. KRISHNAN : The effect of post weld heat treatment on the properties of 6061 friction stir welded joints, Journal of Materials Science, 37, (2002) 473-480
4. 강민철, 구홍서, 윤인택, 강정윤, 김인배 ; 6N01 Al 합금의 미세조직 및 기계적 성질에 미치는 시효처리의 영향, J.of the Korean Society for Heat Treatment, 11-4, (1998) 268-273