

마찰교반용접한 시효경화형 알루미늄 합금 (7N01)의 미세조직 및 기계적인 특성 평가

Evaluation of microstructure and mechanical properties of friction stir welded age hardenable Al alloy (7N01)

이 원배*, 김 중 응*, 김 대 업**, 장 응성***, 연 윤모****, 정 승부*

* 성균관대학교 신소재 공학과

**현대 모비스 기술연구소

***포항산업과학연구원(RIST)

**** 수원 과학대 자동차 시스템과

1. 서 론

마찰교반용접 (Friction Stir Welding)은 1991년 영국 용접 연구소 (TWI, The Welding Institute)에서 개발되어, 기존의 용융용접법으로 접합이 어려웠던 알루미늄 합금의 접합에 적용하여 우수한 접합 특성을 나타내고 있다. 일반적으로 가공재 알루미늄 합금은, 재료의 강화법에 따라 석출경화형 알루미늄 합금과 가공 경화형 알루미늄 합금으로 나눌 수 있다. 석출 경화형 알루미늄 합금의 경우 재료를 가공한 후 용체화 처리 및 적절한 온도와 시간에서 시효처리를 하게 되면 알루미늄 기지 내에 제2상들이 석출하여 재료를 강화시킨다. 이에 비해 가공 경화형 알루미늄 합금의 경우, 고용강화를 가능하게 하는 원소를 첨가시켜 적절한 가공 공정에 의해 재료에 전위밀도 등을 증가시켜 강화시킨 재료이다. 이러한 방법으로 강화시킨 알루미늄 합금을 기존의 용융용접법등으로 접합을 행한 경우, 재료 용융에 동반한 취약한 조직 및 재료의 뒤틀림 등은 물론이고 강화상의 고용 및 가공경화 효과의 소멸 등의 문제를 발생시킬 수 있으므로, 이러한 재료들에 고상용접법의 적용이 기대되어 지고 있다¹⁾. 기존의 마찰용접법 (Friction Welding)의 경우, 재료를 녹이지 않고 재료의 회전 및 압력에 의해 접합을

실시하여 동종은 물론이고 이종재료의 접합에도 탁월한 특성을 나타냈다. 그러나 마찰용접법은 회전이 가능한 재료의 접합에 국한 된다는 단점이 있으며 특히, 판재의 접합에는 적용할 수 없다.

따라서 본 실험에서는 고속철도의 본체 재료로 쓰이고 있는 고강도 석출경화형 합금인 7N01 알루미늄 합금을 이용하여 틀 회전수의 변화에 따른 접합부의 조직 및 기계적인 특성에 미치는 영향에 대해서 알아보하고자 한다.

2. 장 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 석출경화형 알루미늄 합금인 7N01 알루미늄 합금을 이용하였으며, 길이 140mm, 넓이 70mm, 두께 4mm 인 판재를 이용하였다. 마찰교반용접법은 여러 가지 용접변수가 있지만 본 실험에서는 접합 틀과 피접합재 사이의 전진각을 3 도로 유지하였으며, 틀 재료는 철계 공구강을 이용하였고 틀의 회전수를 1250-3600 rpm으로 변화시키고, 접합속도를 187mm/min 으로 고정하였다.

접합한 시편의 미세조직 및 상 거동 관찰은 광학현미경과 TEM (Transmission Electron Microscopy)을 이용하였다. 광학현미경 관찰을

위해 keller 부식액을 이용하였다. TEM 관찰을 위해서 각각의 접합 부위에서 방전가공기를 이용하여 시편을 채취한 후 매우 얇게 연마를 한 후 twin jet polisher이용 하여 TEM 관찰 시편을 제작하였다. twin jet polisher용 용액은 메탄올 80%, 질산 20%액을 이용하였으며 액체 질소를 주입하여 약 223K하의 온도로 유지하였다. 기계적인 특성은 접합부 근방의 경도값 및 인장강도 시험을 통해 확인하였다.

3. 장 실험 결과

Fig.1 에서는 접합 속도를 187mm/min으로 고정 한 후 틀 회전수를 1250-3600 rpm 으로 변화시켜 접합시킨 접합부의 거시조직의 변화를 나타낸 그림이다. 접합부는 위 부분이 넓고 아래 부분이 좁은 와인 컵(wine cup)형태를 보이고 있는데 이는 위부분이 접합틀의 shoulder 와 직접 접촉하기 때문에 이와 같은 접합부 형태가 관찰됨을 알 수 있다.

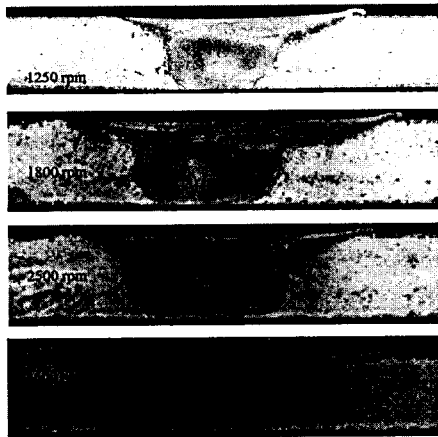


Fig.1 Macrostructures near weld zone with tool rotation speed

접합부의 면적은 틀 회전 속도가 증가할 수록 증가함을 알 수 있다. 틀의 회전과 피 접합재의 상호 작용에 의해 접합부에 마찰열이 발생하는데, 접합부의 온도 및 입열량은 접합조건을 영향을 받는다고 알려 졌다. 특히, 틀의 회전수의 증가에 따라 입열량의 증가 및 온도의 상승으로 인해 접합부의 형상 및 미세조직의 변화를 야기할 수 있다. 따라서 틀 회전수의 증가에 따른 입열량의 증가 및 온도의 상승으로 인해 접합부의 소성변형이 넓은 범위에서 발생하며 접합부의 면적

이 증가한 것으로 사료된다.

틀 회전수 3600 rpm을 제외한 전 조건에서 결합이 없는 우수한 접합부를 얻을 수 있었다. 마찰교반 접합부의 결합 생성 원인은 각각의 접합 조건에서 실험 결과를 토대로, 크게 교반 부족 및 교반 과다를 나눌 수 있다. 접합부족의 경우, 저 입열량 조건인 저 회전수, 고속의 접합속도 조건에서 주로 관찰됨을 알 수 있다. 교반과다의 경우, 본 실험의 회전수 3600 rpm의 조건에서처럼 고 입열량 및 접합부의 온도 상승으로 인해 소성변형이 과다하게 발생하여, 접합틀의 솔더부가 접합부 외부로 배출되는 재료를 충분히 가압하지 못하기 때문이다. 따라서 접합부 내부의 재료 부족한 양 만큼 접합부 외부로 비드의 형태로 배출되었을 것으로 사료된다.

Fig.2에서는 1800 rpm 의 회전수, 187mm/min 의 용접속도에서 용접부 근방의 미세조직의 변화를 나타낸다.

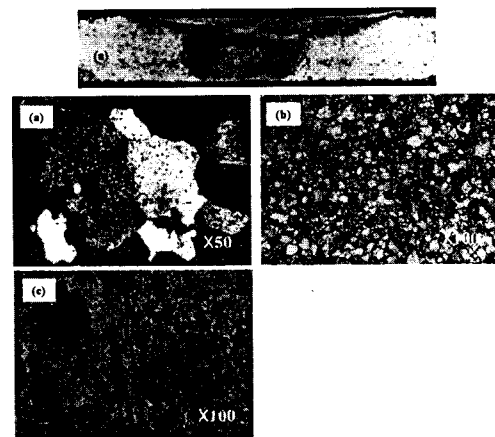


Fig.2 Microstructures near weld zone with various location

마찰교반 접합부는 틀의 소성변형 작용에 의해 발생하는 마찰열에 의한 조직 변화에 따라 크게 교반부 (Stir Zone, nugger), 열 및 기계적인 영향부 (Thermo-Mechanically Affected Zone) 및 열영향부 (Heat Affected Zone)로 나눌 수 있다. 7N01 모재의 경우 (a) 등축정의 입자로 구성되어 있으며 교반부에 비해 매우 조대한 입자들이 주로 분포하고 있음을 알 수 있다. 교반부 (b) 에서는 모재에 비해 현저하게 미세한 등축정인 재결정 조직들이 관찰되고 있음을 알 수 있다. 또한 거의 균일 사이즈의 입자들이 관찰되었다. 열 및 기계적 영향부 (c) 는 틀의 회전에 기인한 연신

된 조직 및 부분적으로 아결정립 (sub-grain boundary)이 관찰됨을 알 수 있다. 이러한 아결정립은 이 영역에서는 동적 회복 (dynamic recovery)의 증거가 될 수 있다. 이처럼 접합부 근방에서 서로 다른 조직들이 관찰되는 것은 각각의 영역에서 서로 다른 열 및 기계적인 영향을 받기 때문으로 사료된다.

Fig.3는 틀 회전수 2500 rpm, 접합 속도 187mm/min인 경우, 경도 변화를 나타낸 그래프이다. 7N01 모재의 경우, 100-105HV 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 접합부의 경우는 약 95-100HV 값을 나타내고 있으며 이는 모재의 약 90%정도의 값을 나타내고 있다. 연화부의 폭은 약 10mm 정도였다.

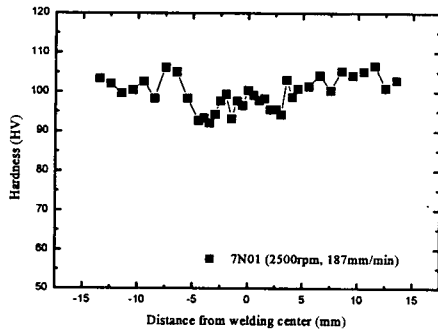


Fig.3 Hardness distribution near the weld zone (2500 rpm, 187mm/min)

Fig.4는 접합부 근방 각각의 영역 (a: 7N01, b: 중심부에서 10mm 떨어진 영역, c: 교반부)의 미세조직을 TEM을 이용하여 관찰 한 결과이다. 모재의 경우, 두 종류의 석출상이 관찰함을 알 수 있으며, 석출물 주위에 고착된 (pinning)된 전위들이 관찰됨을 확인 할 수 있다. EDS 및 제한시야 회절패턴 (SADP) 분석 결과 큰 석출물은 $Al_6(Mn, Fe)$ 임을 예상 할 수 있었으며, 모재 전반에 고루 미세하게 분산된 석출물은 $MgZn_2$ 혹은 Mn rich phase임을 예상할 수 있으며, 이러한 미세한 석출물에 의해 재료의 기계적인 특성을 향상 되었음을 확인 할 수 있다. 접합부 중심에서 약 10mm 떨어진 영역 (b)은 틀의 소성변형은 영향은 거의 없고 마찰열에 의한 열 영향을 받는 영역이다. TEM 관찰 결과, 석출상의 현저한 변화는 관찰 되지 않았으며, 수 마이크론 범위에서 석출상들이 조대화 됨을 알 수 있다. 접합부의 경우 (a) 석출물의 밀도가 현저하게 감소됨을 알 수 있으며, 모재와는 달리 석출물의 크기

가 거의 유사함을 알 수 있다. EDS 분석결과 $Al_6(Mn, Fe)$ 와 $MgZn_2$ 및 Mn rich 상이 혼재함을 알 수 있는데 조대한 $Al_6(Mn, Fe)$ 상은 고상선의 온도가 약 635도 매우 높기 때문에 알루미늄 기지에 고용되지 않고 틀의 교반 작용에 의해 미세하게 분쇄(fragmentation)되었을 거라 사료된다. 따라서 교반부에서는 미세하게 분쇄된 $Al_6(Mn, Fe)$ 과 접합열에 의해 냉각도중 재 석출된 $MgZn_2$ 및 Mn-rich 상으로 구성됨을 알 수 있다. 따라서 교반부의 경도값의 저하는 석출물의 밀도 감소로 판단되며, 기존의 6XXX²⁾ 합금에 비해 교반부의 경도의 저하는 미미함을 알 수 있다.

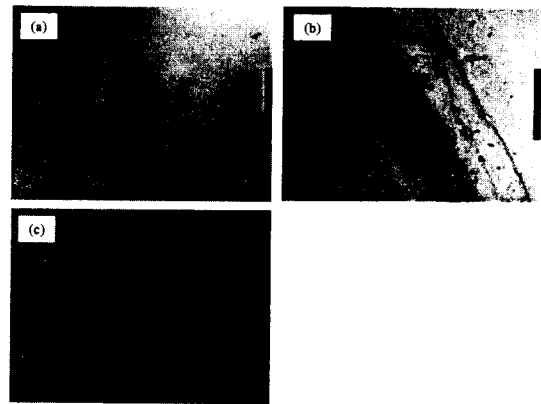


Fig. 4 TEM microstructures of each weld zone (a) 7N01 Base Metal, (b) 10 mm from the center, (c) Stir Zone.

4. 결 론

석출경화형 7N01 알루미늄 합금을 각각의 회전수에서 접합을 한 결과, 접합부의 미세조직 및 기계적인 특성은 용접부의 온도 및 입열량의 변화에 따라 다양하게 나타남을 알 수 있다.

참고문헌

1. Y. S. Sato, S. H. C. Park and H. Kokawa : Microstructural Factor Governing Hardness in Friction-Stir Welds of Solid-Solution-Hardened Al alloys, Metallurgical and Materials Transaction A, 32-A (2001) 3033-3042
2. W. B. Lee, Y. M. Yeon and S. B. Jung : The joint properties of dissimilar formed Al alloys by friction stir welding according to the fixed location of materials, Scripta Materialia, 49-5 (2003) 423-428.