

알루미늄 압출재의 접합부 강도에 영향을 미치는 마찰교반 점용접 틀 형상에 관한 연구

The Effect of Tool Shape in the Friction Spot Joining of Aluminum Extrude

천창근*, 박인규**, 엄경수**, 장웅성*
Chang-Keun Chun*, In-Gyu Park**, Kyung-Su Umm**, Woong-Seong Chang*

ABSTRACT

Aluminum extrude is increasing to vehicle body manufacture of a recent railroad vehicle. Conventional welding of this aluminum extrude has been used MIG welding or resistance spot welding mainly. But the advanced manufactures like Japan's tried to apply the friction stir welding and friction spot joining at railroad vehicle body manufacture process. Therefore in this paper we tried to study to apply friction stir welding to AL 6005-T6 extrude which has been manufactured the railroad vehicle mainly. In this study we investigated first the mechanisms to affect the welding strength in friction stir welding. After we made the 3 tools of different shape, we observed how the welding strength changed while changing the welding time and the rotation speed, the plunging depth.

1. 서 론

최근 철도차량의 차체 제작에 알루미늄 압출재의 사용이 증가하고 있다. 이러한 알루미늄 압출재의 종래 용접은 주로 MIG 용접이나 저항점용접을 주로 사용하였다. 하지만 최근 일본을 중심으로 철도차량 차체 제작 선진사에서 마찰교반용접과 마찰교반점용접을 적용하려는 시도를 하고 있다. 알루미늄 합금은 중량 저감이나 내부식성 향상, 높은 회수율과 같은 장점이 있어 철도차량 차체 제조에 많이 사용되고 있다. 최근에는 알루미늄 압출이 넓게 보급되면서 가공이나 용접에 대한 제작 공정단축 효과가 있어 원가 경쟁력도 증가하고 있다. 현재 국내 철도차량에 적용되는 알루미늄 압출재의 종류는 주로 A6005를 많이 사용하고 있으며 본 알루미늄 합금은 압출성은 우수하나 강도 낮기때문에 T6 열처리를 수행한 후 사용한다. 따라서 열처리 후 강도가 높아진 압출재를 용융용접을 실시하면 열처리 효과의 소멸과 결함 때문에 항복강도 및 인장강도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 알루미늄이 탄소강에 비하여 전기전도도와 열전도도가 높기 때문에 저항점용접을 적용하면 상대적으로 높은 에너지와 고가의 용접 시스템을 필요로 한다.

† 책임저자 : 포항산업과학연구원 용접센터 책임연구원

E-mail : ckchun@rist.re.kr

TEL : (054)279-5236 FAX : (054)279-6879

* (재)포항산업과학연구원

** (주)현대로템

이러한 문제점을 극복하기 위하여 최근에 고상용접인 마찰교반 점 용접이 개발되어 일본의 자동차사를 필두로 세계 자동차 산업에서는 도어나 트렁크 리드, 후드 등과 같은 부품에 적용하거나 하려고 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 알루미늄 차체 제작에 주로 사용하는 Al 6005-T6 압출재에 마찰교반점 용접을 적용하는 연구를 수행하고자 한다. 먼저 본 연구에서는 마찰교반점용접부의 접합 강도에 영향을 미치는 메카니즘을 분석하였다. 이후 3가지 형상의 틀을 제작하고 공정인자인 용접시간과 회전속도, 삽입깊이를 변화시키면서 접합부 강도가 어떻게 변화는 지를 관찰하였다.

2. 사용재료 및 실험 방법

실험에 사용된 알루미늄 소재는 A6005 압출재에 T6 열처리를 실시하였으며 화학적 조성과 기계적 특성은 표 1과 같다.

표 1. A6005 압출재의 화학적 조성과 기계적 특성

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
%	0.78	0.13	0.01	0.16	0.5	0.1	0.03	0.02	Remainder
A6005A T6	Tensile Strength (MPa)			Yield Strength(MPa)			Elongation(%)		
	260			215			8		

재료 두께는 현재 국내 알루미늄 철도차량에서 사용되는 압출재 두께 2.8mm를 그대로 사용하였으며 접합시험 후 인장전단강도 시험을 위해 시편 규격을 그림 1과 같이 JIS Z 3136에 맞추어 길이 200mm, 너비 50mm로 가공하여 마찰교반점용접을 실시하였다.

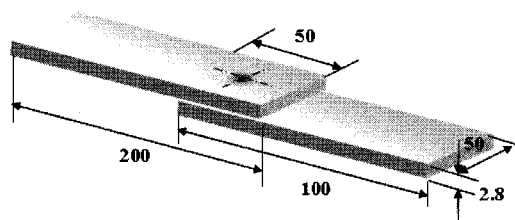


그림 1. 인장전단시험시편(JIS Z 3136)

실험에 사용한 틀은 SKH로 만들었으며 프로브 형상은 그림 2와 같이 나선이 나와 있는 일반적인 원통형을 사용하였다. 틀 사양은 숄더 각(shoulder angle)은 6°로 하였으며 숄더 직경은 15mm, 프로브 직경은 5mm, 프로브 길이는 4.5mm를 사용하였다.

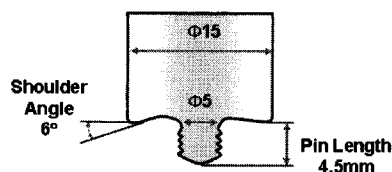


그림 2. 틀의 형상 및 사양

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 접합부 조직

그림 3은 마찰교반점용접 후 후 접합부의 단면을 나타내는 것으로 마찰교반점용접 후 시편의 형상은 표면에 핀에 의해 만들어진 홀은 틀에 저항하는 마찰 표면의 중앙에 남아있고, 이음부의 바깥쪽 가장자리에는 틀이 모재 속으로 삼입되어짐으로 인해 원소재가 밖으로 돌출되어 링 형태의 돌기가 형성되었다. 전체적으로 접합부는 단일 홀로 이루어진 버튼같이 보인다. 반면에 뒷면은 백킹바가 지지해줌으로 인해 평면을 유지하고 있다. 접합부 미세조직은 마찰열과 기계적 교반에 의한 소성 유동에 의한 동적 재결정영역이 형성되는 교반부(stir zone), 교반부와 열영향부 사이에는 기계적 소성유동과 열영향을 받아 부분적인 재결정영역이 관찰되는 TMAZ부, 접합부 주변에는 열 영향만을 받은 열영향부(HAZ)가 존재한다.

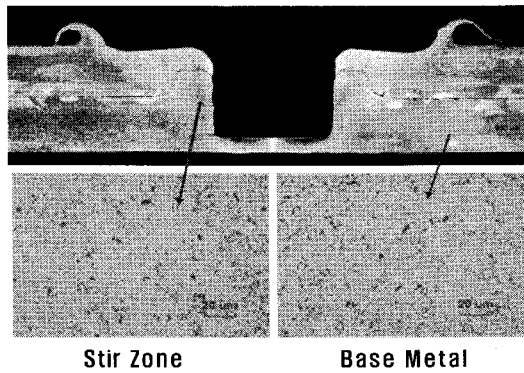


그림 3. 마찰교반점용접부 매크로 사진

접합부 중앙부인 교반(SZ)부에 kissing bond와 유사한 굴곡선이 관찰된다. 따라서 교반부를 그림 4와 같이 SEM을 통해 고배율로 확대해 본 결과 일부는 금속간 결합을 형성하여 완전한 결합이 이루어졌으나 일부는 접합되지 않고 미세한 홀이 존재하는 것을 알 수 있었다. 이러한 미세한 홀 근처를 EDS로 성분을 분석해 보면 Al과 O가 검출되며 이는 초기 표면에 존재했던 산화물 층이나 대기 중의 산소가 접합 중 접합부내로 혼입되어 검출되는 것으로 생각된다. 이러한 홀의 유무는 전체적인 기계적인 특성을 감소시키는 원인으로 작용할 것으로 추정된다.

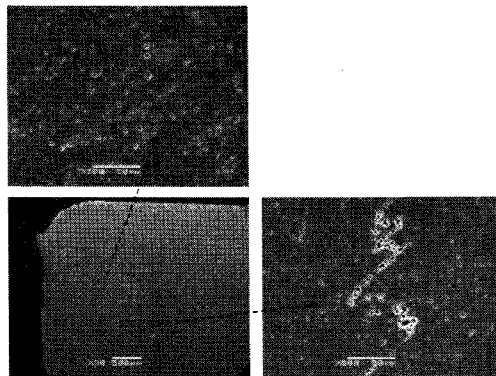


그림 4. Kissing bond SAM 사진

3.2 접합부 경도분포

그림 5는 접합부 단면의 비커스 경도 분포를 나타내는 것으로 소재의 상판 및 하판 두께의 중앙 지점에서 측정하였다. 경도는 모재로부터 HAZ부로 갈수록 감소하였으므로 HAZ부에서 SZ로 갈수록 다시 상승하는 분포를 나타내었다. HAZ부에서의 경도 감소는 내부로 유입되는 마찰 발열로 인한 정적 결정립 성장으로 인한 결정립 조대화와 어닐링(annealing) 효과로 강도가 저하된 것으로 판단된다. 상판 HAZ부 경도는 약 62Hv, 하판 HAZ부는 약 70Hv까지 하강하였는 데 하판의 경도가 더 높은 이유는 접합 시 발생하는 마찰열이 상판의 표면에서 발생하여 하판으로 전달되기 때문에 상판 소재의 온도가 더 높게 상승하였기 때문이다. 교반부에서는 모재에 비해 결정립이 매우 미세해져 오히려 경도가 올라가는 현상을 보이는 것으로 판단된다.

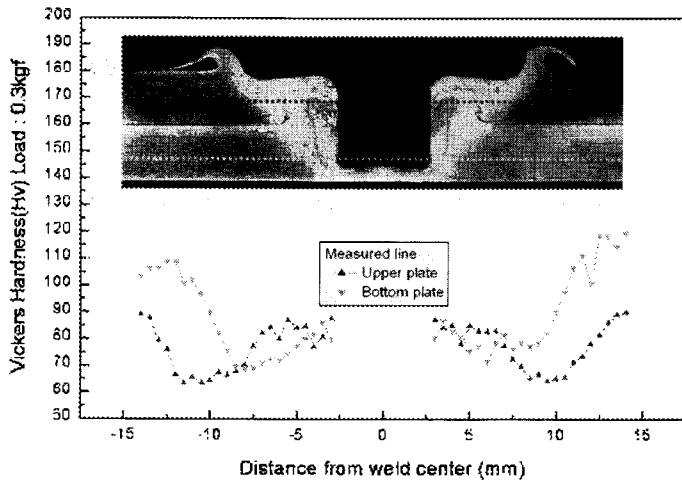


그림 5. 경도분포

3.3 인장전단 시험

마찰교반점용접에서 인장전단강도에 영향을 미치는 공정인자는 톨의 회전속도와 용접시간, 톨 삽입깊이 등이다. 이들 3가지 공정인자 중에서 인장전단강도에 가장 큰 영향을 미치는 공정인자는 톨 회전속도로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 톨 회전속도 변경에 따른 인장전단강도를 측정하 뒤 톨 회전속도가 인장전단강도에 영향을 미치는 메카니즘을 분석하였다. 그림 6은 용접시간을 2sec로 고정하고 톨 회전속도를 1,000rpm으로부터 2,500rpm으로 상승하였을 때 인장전단 강도를 측정하 것으로 톨 회전속도에 반비례하여 인장전단강도가 저하됨을 알 수 있었다. 인장전단강도 변화 메카니즘을 분석하기 위하여 톨 회전속도 별 접합부 단면사진을 나타내는 것이 그림 7이다. 마찰교반점용접부 단면에서 반드시 관찰되는 hooking을 확대하여 서로 비교한 결과 horizontal hooking 길이는 약 1,975~2,663mm 정도로 비슷한 길이를 유지하였지만 vertical hooking 길이는 톨 회전속도가 증가함에 따라 1,852mm에서 600mm까지 급격하게 감소함을 알 수 있다. 따라서 인장전단시험 시에 vertical hooking 길이가 파단에 절대적인 역할을 한다는 것을 알 수 있다.

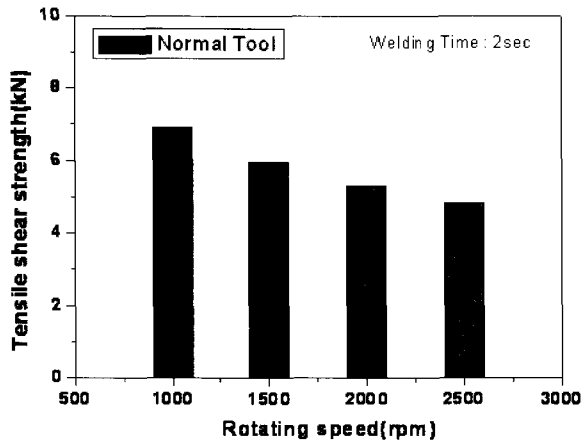


그림 6. 톨 회전속도 변경에 따른 인장전단강도

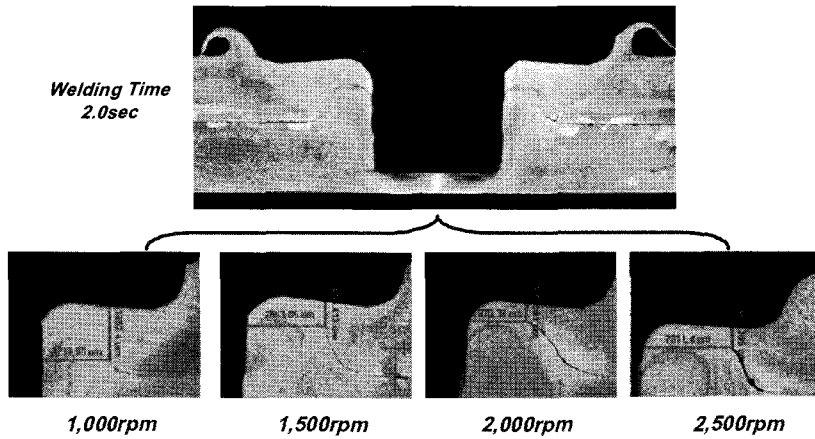


그림 7. 톨 회전속도 별 hooking 모습

4. 결론

본 연구에서는 알루미늄 차체 제작에 주로 사용하는 Al 6005-T6 압출재에 마찰교반점용접을 적용하는 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) A6005-T6 압출재의 마찰교반점용접부에서 소성 유동에 의한 동적 재결정영역이 형성되는 SZ 영역, 국부적으로 재결정 영역이 관찰되는 TMAZ 영역, 이들 주변에 열 영향만을 받은 HAZ가 존재하는 것을 관찰되었다. 교반부에 Hooking 모양의 kissing bond가 관찰되었으며 Kissing bond를 SEM을 통해 고배율로 확대해 본 결과 일부는 접합되지 않는 미세한 홀이 존재하는 것을 알 수 있었다.

2) 접합부 단면의 경도 분포를 실시한 결과 결정립 조대화과 어닐링(annealing) 효과로 모재로부터 HAZ부로 갈수록 경도가 감소하였으며 교반부에서는 모재에 비해 결정립이 매우 미세해져 오히려 경도가 올라가는 현상을 보였다.

3) 마찰교반점용접부 인장전단강도 시험결과 톨 회전속도가 증가함에 따라 강도가 저하되었으며 그

이유는 접합부에 발생하는 Vertical Hooking 길이가 틀 회전속도가 증가함에 따라 급격하게 감소하여 인장전단시험 시에 파단에 절대적인 역할을 하였다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 미래철도기술개발사업의 연구비지원(과제번호 07차세대고속철도A01)에 의해 수행되었습니다.

참고문헌

1. 서승일 (2004년), “알루미늄 철도차량의 용접 기술”, 대한용접학회지, 제22권 제3호, pp.228-234
2. 서승일 (2005년), “알루미늄 철도차량 차체 용접부의 강도 특성에 관한 연구”, 대한용접학회지, 제23권 제1호, pp.35-40
3. 천창근 외 2명 (2008년), “수송기용 알루미늄 합금의 마찰교반점용접 적용 기술”, 대한용접접합학회지, 제26권 제6호, pp.23-29
4. 김특기 외 3명 (2007년), “마찰교반점용접을 이용한 자동차용 AI 합금의 파단 특성”, 대한용접학회 2007년도 추계학술발표대회 개요집, pp.316-318
5. 장웅성 외 5명 (2008년), “차세대 분산형 고속전철용 압출재 알루미늄 합금의 마찰교반접합”, 한국철도학회 2008년도 춘계학술대회 논문집, pp.980-985
6. Yasutomo ODA 외 3명(2007), “Fatigue Design Diagram for Weld Joints on Aluminum Alloy Railcar Body Shells,” The 10th International Conference on Joints in Aluminum, proceedings, pp.292-297
7. Hiramatsu Hideki 외 3명(2005), “Investigation of Predominant Mechanical Parameters and its Prediction in Joint Strength of Friction Spot Joining”, Journal of Light Metal Welding and Construction, Vol. 43, no. 9, pp. 23-33.