

마찰교반용접의 현황 및 알루미늄 철도차량에의 적용

Introduction of Friction Stir Welding and Its Application to Aluminum Rolling Stock

서 승 일*
Seo, Sung-Il

ABSTRACT

MIG or TIG welding has been the most popular welding process for joining aluminum alloy structures. However, porosity, hot crack and distortion were serious problems in inert gas fusion welding. Since FSW(Friction Stir Welding) was invented by TWI in 1991, it has been the powerful candidate for solving the problems of inert gas welding. In this paper, the principle and characteristics of FSW is introduced and its application to rolling stocks is presented to make basis for future development in production technology of aluminum rolling stocks.

1. 서론

알루미늄 합금 구조물의 접합 시에는 전통적으로 MIG(Metal Inert Gas)나 TIG(Tungsten Inert Gas)와 같은 불활성가스 용접이 주로 이용되어 왔으나, 기공과 고온균열과 같은 결함과 과도한 용접 변형 등의 현상이 수반되어 건전한 구조물의 제작을 저해하는 문제점이 되어 왔다[1]. 적정 용접 조건의 준수와 효과적인 지그의 사용으로 이러한 문제점을 다소 완화시킬 수 있으나 근원적인 해결을 위해서는 새로운 대책이 필요한 실정이다.

마찰교반용접(FSW, Friction Stir Welding)은 1991년 영국 TWI에 의해 개발되어 특허가 출원된 이래 90년대 중반부터 산업 적용이 시작되었다는 점에서 가장 짧은 기간에 새로운 용접 공정의 실용화가 이루어진 기술로 간주된다[2]. 마찰교반용접은 알루미늄 합금의 용융 용접 시에 나타나는 문제점을 해결할 수 있는 새로운 기술로서 다양한 산업 분야에서 광범위하게 적용되고 있는 신기술이라 할 수 있다. 본 연구에서는 마찰교반용접의 원리를 설명하고, 기존의 알루미늄 합금 용접의 문제점을 극복할 수 있는 대안으로서의 특성을 소개하며, 철도차량에 적용된 사례를 살펴봄으로써 향후 알루미늄 철도차량 제작 기술의 발전을 위한 기초로 삼고자 한다.

2. 마찰교반용접의 원리

마찰교반용접은 그림 1과 같이 비소모식 회전 툴(tool)이 접합 모재에 삽입되어 회전하면서 마찰열을 발생시켜 모재의 변형 저항을 낮추어 연화시키기에 충분한 온도로 가열한 후, 기계적인 힘

* 한국철도기술연구원 고속철도기술개발사업단

에 따라 틀이 이동하면서 가열 부분을 앞부분에서 뒤쪽으로 압출되게 하여 마찰열과 기계적 가공의 조합으로 고상접합부가 만들어지게 하는 접합 방법이다.

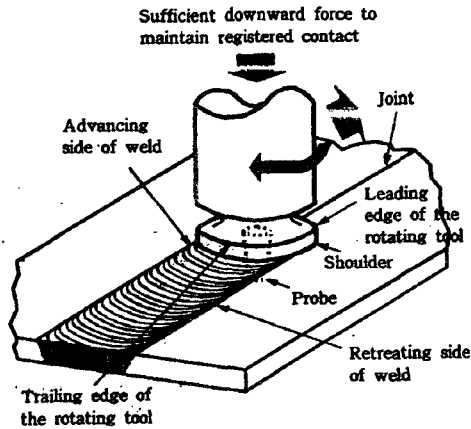


그림 1. Principle of FSW

3. 불활성가스 용접 시의 문제점

알루미늄 합금은 공기 중 원소와의 친화력으로 인해, MIG나 TIG와 같이 불활성가스의 분위기 하에서 용접이 이루어지는데, MIG나 TIG 용접 시에는 고온 용융 상태와 상온에서의 수소 용해도 차이에 의해 용접 후 냉각 상태에서 용해되지 못한 수소 가스가 기공을 형성하게 된다. 또한 고온에서 입계에 존재하는 액막이 결정립의 냉각에 따른 수축력을 견디지 못해서 고온균열도 발생하게 된다. 그림 2와 같이 알루미늄 압출재의 MIG 용접 시 발생한 기공과 고온균열은 알루미늄 합금의 용접부에서 발생하는 대표적인 결함이라 할 수 있다.



(a) Porosities

(b) hot crack

그림 2. Defects in aluminum welded joint

알루미늄 합금은 선팽창율이 강재에 비해 3배 이상이므로 용융 용접 중 투입되는 열에 의한 온도 구배에 따라 과도한 변형이 발생하게 된다. 중, 횡수축 및 각변형은 제작 공차를 유발하고, 그림 3과 같은 회전변형은 루트 캡의 크기를 증가시켜 용접이 불가능하게 만들기도 한다.

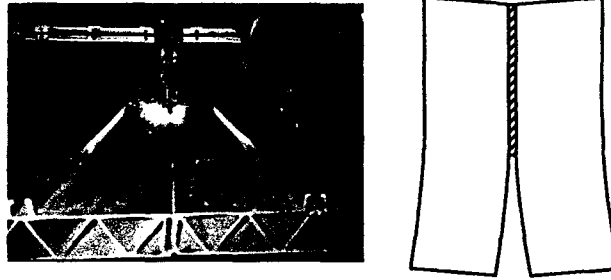


그림 3. 알루미늄 압출재 용접 시의 회전 변형

4. 마찰교반용접의 특징

마찰교반용접은 불활성 가스 용접과는 달리 차폐 가스를 필요로 하지 않고, 용가재도 요구되지 않는다. 또한 용접 중 흠의 발생도 없고 적외선 또는 자외선 등의 유해 광선도 발생하지 않는 환경 친화적인 접합 방법이다.

마찰교반용접은 용융 용접이 아니므로 기공이나 고온균열 등의 용접 결함이 없고, 기계적인 접합이므로 입열량이 적어 변형이 극도로 감소된다. 그림 4는 마찰교반용접과 MIG용접과의 발생 변형량을 비교한 그림이다[3].

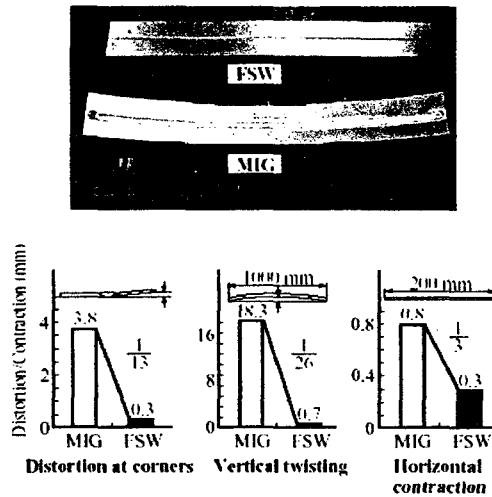


그림 4. Distortion in FSW & MIG welding

마찰교반용접 시 교반에 의해 그림 5와 같이 알루미늄 합금의 조직이 미세화되는 경향이 있어서 충격강도나 피로강도가 증가되는 특성이 있다[4].

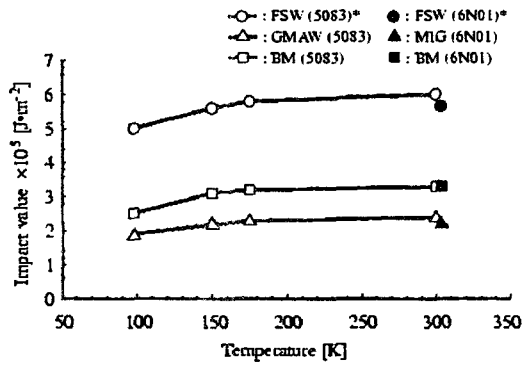
그림 6은 용접부의 충격강도를 측정한 결과로서 마찰 교반 용접부의 충격강도가 모재에 비해 1.7배 MIG용접부에 비해서는 2.4배에 이르고 있음을 보여 준다. 그림 7은 용접부의 피로강도를 측정한 결과로서 마찰교반용접부의 피로강도가 MIG 용접부의 피로강도보다 우수함을 보여 준다.

마찰교반용접 후에는 용접부의 단부에 틀(tool) 들기부의 구멍이 남게 되어 End Tab을 제품의

바깥에 붙일 필요가 있으며, 비소모식 환봉인 틀을 이용하므로 덧살을 형성할 수 없는 문제가 있으며, 필릿 용접은 원리적으로 불가능하게 된다.



그림 5. Micro-structure of FSW



* 5083, 6N01: aluminum material codes
GMAW: gas metal arc welding
BM: base metal

그림 6 FSW 용접부 충격 강도

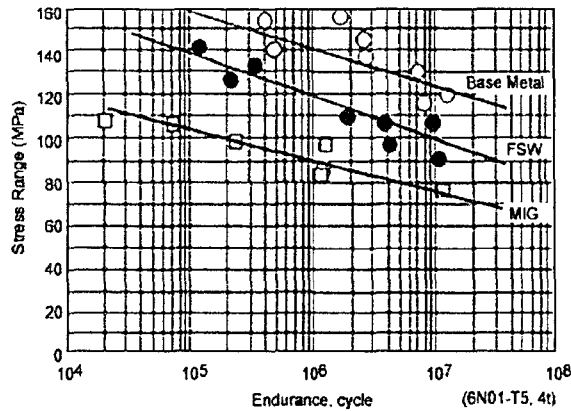


그림 7. Fatigue strength of specimens

5. 마찰교반용접의 철도차량에의 적용

마찰교반용접을 철도차량 분야에서 가장 먼저 적용하여 실용화한 곳은 일본의 차량제작사이다. 히타치사는 마찰교반용접의 장점을 살려서 그림 8과 같은 자기-지지 방식의 내장판넬 모듈

(self-supporting interior panel module)을 적용한 A-Train을 개발하였다[3]. A-Train은 마찰교반 용접을 이용하여 제작된 변형이 최소화된 정밀 이중 구조(double skin)의 차체 내부에 자기-지지 방식의 모듈화된 내장 구조를 최소한의 볼트를 사용하여 삽입 체결한 차량으로써, Life-Cycle Cost가 감소되고 재활용성이 대폭 향상되는 특성이 있다.

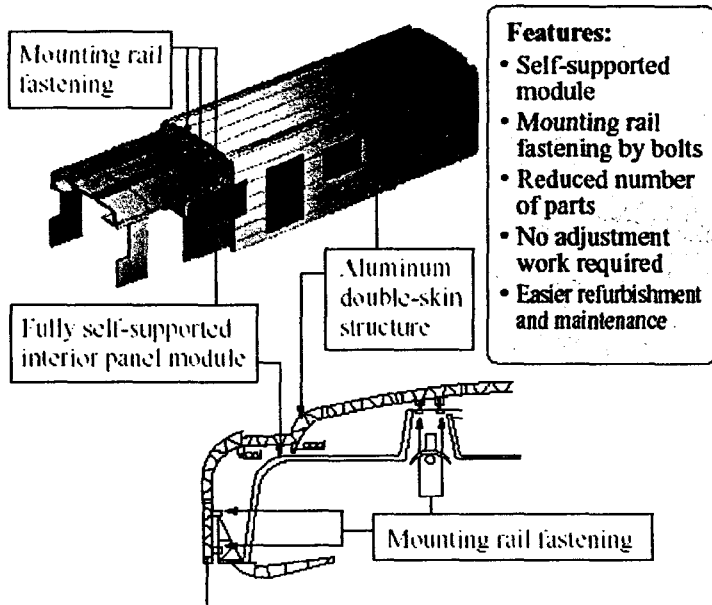


그림 8. Basic configuration of A-Train

히타치사는 그림 9와 같이 마찰교반용접을 이용하여 차체 Floor의 일면 용접이 가능하도록 이음부 설계 기술을 개발하여 7000계 신간선의 Floor Panel에 적용하였고, 실제 광폭 Panel을 제작하였다.

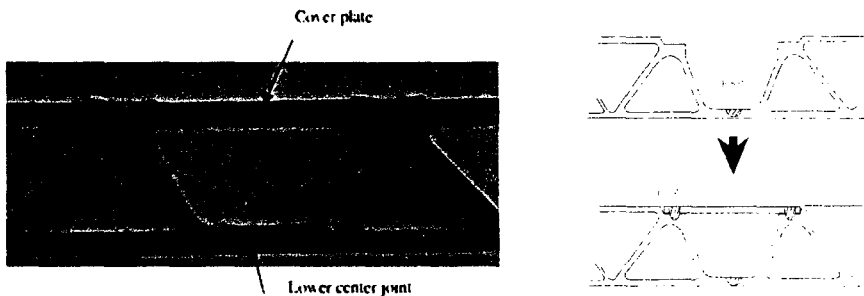


그림 9. One-sided FSW joint for double skin floor panel

6. 결 언

마찰교반용접은 기존의 고정 관념을 뛰어 넘은 획기적인 용접 기술이라 할 수 있다. 기존의 알

루미늄 합금의 용융 용접 시에 나타나는 결함과 변형 등의 여러 문제점을 개선할 수 있는 획기적인 용접 방법으로 선진국에서도 이제 상용화되기 시작한 기술이라 할 수 있다. TWI가 특허를 등록하여 원천 기술에 대한 권리를 보호하고 있어서 기술 적용에 여러 애로 사항이 있지만 용융 기술의 개발과 함께 국내에 새로운 특허를 등록함으로써 신규 기술에 대한 권리 보호를 확대해 나갈 필요가 있다.

국내에서는 지난 10년 동안의 연구 성과에 힘입어 알루미늄 철도차량이 이제 상용화되기 시작한 상황이지만, 마찰교반용접의 적용 측면에서는 선진국과 비슷한 출발선상에 놓일 수 있어서 체계적인 연구가 이루어지고 성과가 축적된다면 응용기술 면에서는 선진국의 기술 수준에 쉽게 도달할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 서승일, "알루미늄 철도차량 차체 손상 방지를 위한 연구", 한국철도학회논문집, 제5권, 제3호, 2002. 9.
2. Stephan Kallee and Dave Nicholas, "Friction Stir Welding at TWI", TWI World Center for Material Joining Technology, <http://www.twi.co.uk>, 2002.
3. Hideshi Ohba, Chiaki Ueda & Kouji Agatsuma, "Innovative Vehicle : the A-Train", Hitachi Review, Vol. 50, No. 4, 2001.
4. 장웅성, 최기용, 김숙환, 권영각, "Friction Stir Welding의 특징과 적용 기술", 대한용접학회지, 제19권, 제6호, 2001.