

알루미늄 철도차량의 생산 기술 개발

Development of Production Technology for Aluminum Rolling Stocks

서승일*
Seung Il Seo

Abstract

Production technologies for aluminum rolling stocks are mainly related to welding of aluminum alloys. Automatic welding of extrusion profiles and control of welding deformations are the important contents of the production technologies. Another production technology other than welding is the technique for surface treatment of aluminum carbody. In this paper, problems caused during construction of the test carbody are described and the remedies for the problems are suggested. The accumulated experiences and systematic data will be helpful for the mass production of aluminum rolling stocks in the future.

1. 서론

알루미늄 합금을 차체 재질로 사용한 알루미늄 철도차량은 경량소재의 적용에 따르는 중량 감소, 압출 형재의 사용에 따른 생산 시수 절감 등의 이점이 있으나, 표면에 존재하는 산화막, 빈번한 용접 결함, 과도한 용접 변형 등의 문제점이 있다. 지난 5년에 걸쳐 철도차량 3사와 알루미늄 소재업체를 중심으로 알루미늄 철도차량용 압출형재 및 차체 구조 개발 사업이 공업기반기술개발 사업의 일환[1]으로 진행되어 왔고 성공적으로 종료되었으나, 차량 제작 과정에서 겪은 각종 문제점 및 이의 해결 방안에 대한 고찰이 미흡하였다. 본 연구에서는 차량 제작사인 (주)한진중공업에서 알루미늄 차체를 제작하면서 경험한 문제 및 해결 방안을 정리하여 봄으로써 양산에 대비한 기술 축적의 자료로 삼고자 한다.

*1(주)한진중공업 산업기술연구소

2. 언더프레임의 자동 용접 기술 개발

알루미늄 철도차량의 언더프레임(under frame)은 대형 압출재를 적용하여 자동 용접을 통해 제작할 수 있는 구조이다. 알루미늄의 용접 시에는 기공과 용접 균열이 발생할 수 있고, 이로 인해 용접부의 강도가 현격히 저하되나, 적절한 용접봉의 선정, 모재 표면의 산화막 제거, 용접봉 및 모재 표면의 철지한 수분 관리, 보호 가스의 순도 관리 등을 통해 극복될 수 있다.

언더프레임은 균일 단면의 압출재가 연속되어 있으므로 직선 자동 용접이 용이한 구조이다. 언더프레임의 자동 용접을 위한 자동용접 장치는 Fig. 1과 같다.



Fig. 1 Automatic welding machine for aluminum extrusion profiles

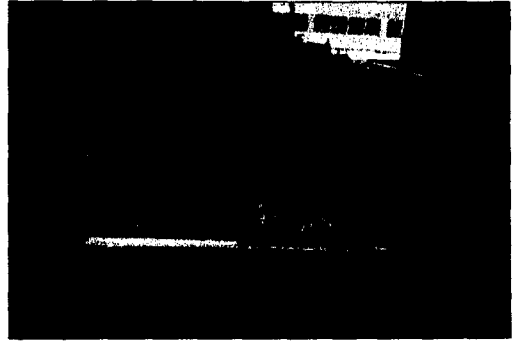


Fig. 2 Jig for assembling underframe

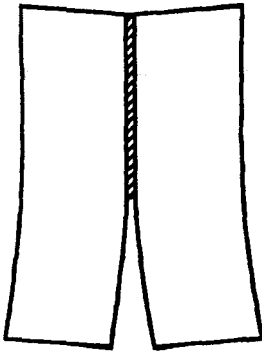


Fig. 3 Rotational deformation of aluminum extrusion plates during automatic welding



Fig. 4 Out-of-plane deformation after welding

평판 구조의 자동 용접시에는 용접선을 중심으로 한 온도 분포의 불균일에 의해 Fig. 3과 같이 면내의 회전 변형이 발생한다. 면내의 회전 변형은 용접을 불가능하게 만들기 때문에 반드시 억제되어야 하는데, 회전 변형의 억제는 Fig. 2와 같이 사각형의 지그 내에 언더프레임을 위치시키고, 좌우 양단에서 봉을 통해 내측으로 힘을 가하여 구속함으로써 가능하게 된다.

언더프레임의 용접 시에는 면내의 회전 변형뿐만 아니라 Fig. 4와 같은 면의 변형도 발생하게 된다. 언더프레임의 면의 변형은 변형을 유발하는 수축력이 과다하고 지그를 통해 구속하기가 곤란하므로 언더프레임의 뒷면에 Fig. 5와 같이 스트롱 백을 취부하여 변형을 억제한다. Fig. 5와 같이 T-슬롯에 기기가 취부되는 하면을 먼저 용접하고 뒤집어서 상면을 용접하게 되면, 첫 패스의 용접 변형이 지배적이므로 잔류하는 변형은 최종 조립 시 위로 볼록한 곡면을 이루게 되어 차폭 방향으로 언더프레임의 캠버로 활용할 수 있다.

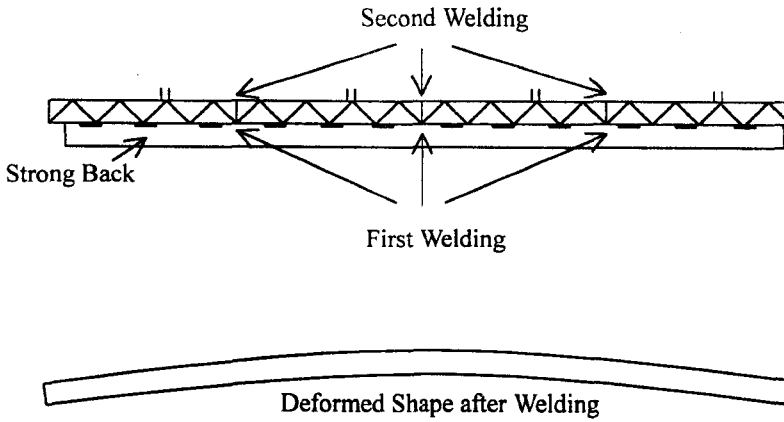


Fig. 5 Welding procedure for underframe

3. 측구조의 조립

측구조(side frame)의 블록 조립을 위한 용접 시에는 면의 변형이 유발되어 대조립 시 인접 블록과의 용접을 불가능하게 만드므로, 억제되어야 한다. 측구조의 용접 시에는 언더프레임에 비해 상대적으로 부재 크기가 작고, 변형 수축력도 작으므로 Fig. 6와 같이 증량물을 얹거나, 클램프를 통해 구속하여 면의 변형을 억제한다.

블록을 결합하여 측구조를 조립할 때에, 차체 전체의 캠버를 유지하기 위해 Fig. 8와 같이 정반 위에 요구되는 캠버량보다 30% 정도를 증가시킨 상태로 블록들을 위치시키고 스톱퍼(stopper)로 고정한 후 용접을 실시한다.

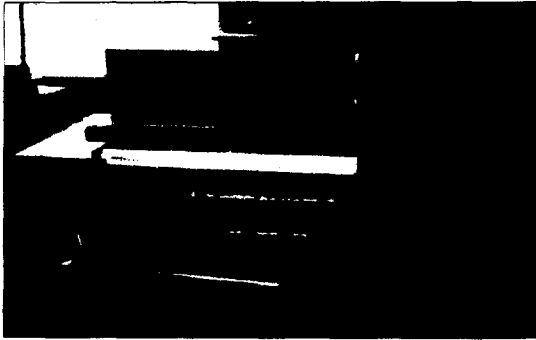


Fig. 6 A method to reduce welding deformation by weights

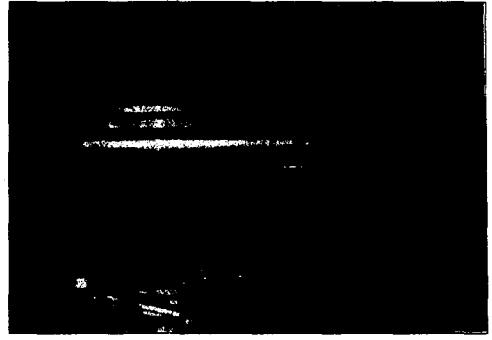


Fig. 7 Jig for reducing welding deformation



Fig. 8 Assembly of side structure



Fig. 9 Jig for assembling roof profiles

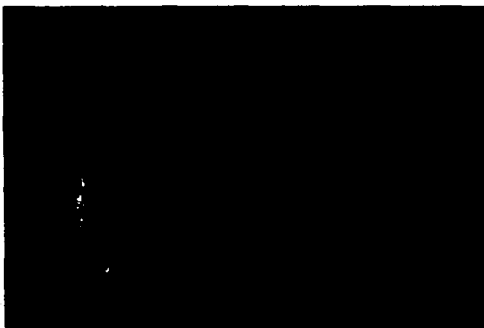


Fig. 10 The bent piece of the end connection beam

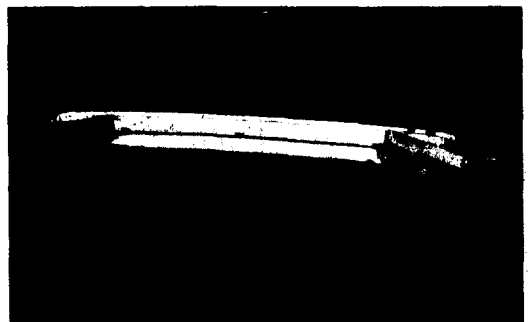


Fig. 11 Fabrication of the end connection beam

4. 지붕구조의 조립

지붕구조(roof)의 보강을 위해 존재하는 카라인(car line)은 도면에 정해진 곡률대로 굽힘가공한 상태에서 지붕을 이루는 압출재와 결합되므로 지붕구조의 압출재는 정확한 곡률대로 결합되어야 한다. 지붕구조의 압출재의 조립 도중, 정확한 형상 유지를 위해서는 용접 변형을 최대한 억제하여야 하는데, 이를 위해 지붕의 외형대로 만들어진 지그 위에 압출재를 고정시킨 상태에서 용접을 실시한다. Fig. 9은 지붕구조 압출재의 용접 조립을 위한 지그이다.

5. 단부구조의 조립

단부구조(end frame)의 조립 시의 문제는 지붕구조와의 연결을 위한 보(end connection beam)의 굽힘 가공이다. 연결 보의 깊이가 상당한 반면 판두께가 얇고, 재질(A6005A T6)의 연신률(8%)[2]이 부족하여 Fig. 10과 같이 굽힘 가공 중에 균열과 국부 좌굴 등의 문제가 발생하였다. 냉간 굽힘 가공으로는 이러한 문제점을 해결할 수 없어서 Fig. 11과 같이 곡률 부분의 연결 보를 조각내고 곡률에 맞춰 다시 용접으로 결합하여 형상을 이루도록 하였다.

6. 차체의 대조립

차체의 대조립 순서는 지그 위에서 조립된 지붕구조를 기반으로 하여 측구조를 결합하고 단부구조를 결합한 후 뒤집어서 언더프레임과 결합시키는 것이다. Fig. 12와 같이 지붕구조를 기반으로 측구조와 단부구조를 결합하는 것은 하향 용접을 실시하여 용접 결합을 최소화하려는 의도이고, 1차 조립된 구조를 뒤집어서 언더프레임과 결합하는 것도 하향 용접을 통해 용접 결합을 최소화하려는 의도이다. 언더프레임을 기반으로 측구조를 조립한 후 지붕구조를 최종적으로 결합하는 방법도 생각할 수 있으나, 언더프레임의 중량이 가장 크므로 Turning 시에 어려움이 발생할 수 있다. 따라서 지붕구조를 먼저 결합하는 것이 조립 공정 상 편리하다.

대조립 시에 차체 형상 유지를 위해서 Fig. 12과 같이 내부에 지그로 보강하는 것이 필요하다.

7. 차체의 표면 처리

차체의 표면은 외관 미려도를 위해 용접 비드를 제거한다. 용접 비드를 제거할 시에 이음부의 강도 저하를 주의해야 한다. 특히 골조(frame)와 같은 강도 부재의 용접부는 비드

가 제거될 경우 강도 저하에 따라 Fig. 13과 같이 정하중 시험 시에 이음부의 균열이 발생할 수 있으므로 피해야 한다.

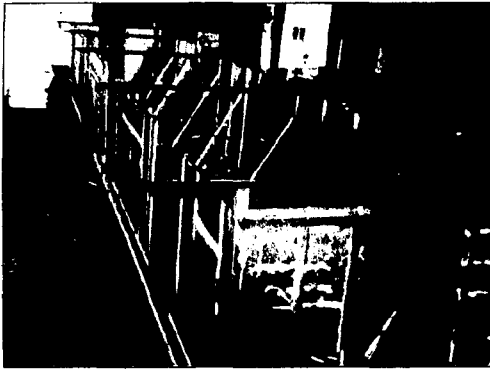


Fig. 12 Assebmly of carbody

샌드블라스팅 후에 물로 세척한 후 Primer를 칠하게 되는데, 칠하기에 앞서 표면의 완벽한 건조가 필수적이다. 차체 내부나 틈새에 남아 있는 습기는 도장 작업 후 기포로 되어 도료의 박리를 초래하게 되므로 건조에 특별히 유의하여야 한다.

도장 작업을 위해서 알루미늄 합금의 표면에 존재하는 산화막을 제거해야 하는데, 샌드블라스팅을 통해 가능하다. 화학적인 산세척(acid cleaning)을 통해서도 산화막 제거가 가능하나, 수질 환경 문제로 인해 적용이 곤란하다. 알루미늄 합금 표면은 스틸에 비해 경도가 떨어지므로 샌드블라스팅 시 모래 입자 크기 선정에 주의해야 한다. 또한 부식 방지를 위해 염분이 없는 하천의 모래를 활용해야 한다.

샌드블라스팅 후에 물로 세척한 후 Primer를



Fig. 13 Crack of the grinded joint during static load test

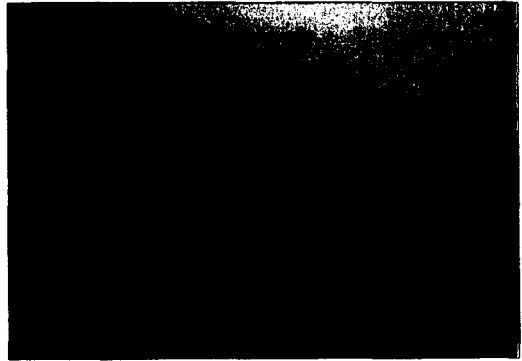


Fig. 14 Finally painted carbody

8. 결론

알루미늄 철도차량 생산기술은 상당부분이 용접과 관련된 것으로서 용접 결합의 억제

를 위한 용접 조건 선정과 용접 자동화 기술, 용접 시 발생하는 변형의 적절한 제어가 핵심 내용이라 할 수 있다. 용접 이외의 주요한 생산기술은 차체 표면 처리 및 도장 기술로서 미려도 향상 및 부식 방지가 주요 내용이다. 본 연구는 알루미늄 철도차량 차체의 생산기술 개발에 관한 것으로 차체를 제작하면서 겪은 문제점 및 이의 해결 방안을 정리한 것이다. 시제품을 생산하면서 개발한 생산기술은 향후 알루미늄 철도차량의 양산 시에 긴요하게 사용될 것이다.

9. 참고문헌

1. 서승일, 김진태, 박일철, 이동현, 신돈수, “철도차량 구조용 알루미늄 압출형재 및 차체 구조 개발 - 제1보 차체 설계 및 대형 알루미늄 압출재 생산 기술 개발 -”, 한국철도학회지 심사중, 1998. 7.
2. “Wrought Aluminium and Aluminium Extruded Sections”, Part 1, DIN 1748, 1983.
3. “철도차량구체의 하중 시험 방법”, 일본공업규격 JIS E 7105, 1988.
4. “철도차량용 알루미늄합금 용접 이음의 설계 방법”, 일본공업규격 JIS E 4050, 1992.

후 기

본 연구는 산업자원부 공업기반기술개발사업의 일환으로 수행된 것임을 밝힙니다.