

고속 열차용 대형 알루미늄 부품의 GAP 대응 로봇 자동화 용접 기술

이 상 철*†

*아이 지엠 로봇 코리아

Technologies for Robotized Welding of Big Aluminium Structures with Tolerances for High Speed Trains

Lee Sang Chul*†

*igm Robotic Systems Korea Co., Ltd.

†Corresponding author : sclee@igm-korea.com

Abstract

Robotized MIG welding of large aluminium components for high speed trains is state-of-the-art. The implementation of online laser cameras enables seam tracking and adoptive modification of welding parameters. A constant fill is achieved regardless of the gap tolerances.

Friction Stir Welding has been introduced to the market as a reliable and fast joining technology. The advantages of high welding speeds and the elimination of arc light, fumes and liquefaction in the welding spot lead to economical realisation of heavy-duty gantry systems. FSW robots offer a high flexibility with regard to welding of curved parts, and can be equipped with laser cameras for exact joint tracking.

Key Words : Aluminum alloys, Metal inert gas welding, Friction stir welding

1. 개 요

알루미늄 재질의 고속열차 차체의 용접 자동화는 기술적으로 매우 어려운 과제이다. 필요한 높은 생산성 달성을 위하여 진일보된 센서시스템과 고성능 용접 기법이 접목된 로봇을 이용한 용접기술의 채용이 불가피하다. 탠덤 공정(Tandem process)을 포함MIG 펄스 용접 프로세스가 용접 자동화용 로봇적용에 적당한 기술이지만 이는 항상 본 용접 실시 전에 준비하는 용접 전공정과 본 용접 후 뒤처리 및 마무리를 해야 하는 후공정이 추가될 수 밖에 없는 약점을 지니고 있다. 예열, 프레싱, 브러싱, 마무리 용접, 절삭 등 다른 여러 공정들이 추가 되어야 하고 이들 공정을 위한 장비 및 장치들이 별도로 준비 되어야 한다.

이에 반하여 로봇을 사용한 마찰교반용접(FSW; Friction Stir Welding) 프로세스는 고속화된 용접속도에 의한 열입력의 최소화로 용접 후 수정작업등 후공정 과정이 대폭 줄어드는 효과가 있다.

본 글에서는 산업현장에서 적용되는 실례를 토대로

다양한 용접 공정과 용접 대상물의 제작 공차 관리용 장비에 관련한 기술을 소개하고자 한다.

2. 차체용 대형 부품 로봇 MIG 용접 장비

2.1 로봇 및 용접 장비

최근 10여년 동안 고속열차용 알루미늄 차체 생산에 필요한 수요로 측벽구조물(side walls), 지붕구조물(roofs), 바닥구조물(floors), 부분 조립품(assemblies) 및 기타 대형 구조물 등의 차체용 부품을 생산하기 위하여 고안된 각 고유 형태의 로봇 용접 시스템 이 개발 되었다.

중국은 세계 최장의 고속열차 운행 노선의 건설을 추진하고 있다. 단기적으로는 2013년 까지 전장 7,500 Km 길이의 고속 철도노선이 완공되어 약 800 대의 고속열차가 운행될 예정이며, 장기 계획으로 2020년 까지 16,000 Km의 고속철도 노선이 건설될 예정이다. 이로 인하여 발생하는 철도차량의 생산 수요는 일반인의 상상을 초월할 정도로 매우 많다. 일례로 단 한 곳



Fig. 1 Welding robot system for high speed trains



Fig. 2 Torch drive for welding wire feeding

의 철도 차량 생산공장에서 지하철과 같은 일반 알루미늄 철도 차량의 생산과 병행하여 하루 5 량의 고속열차 생산능력을 보유하고 있다. 이러한 방대한 생산량은 용접 자동화 설비를 갖추지 않으면 절대 불가능한 생산량이다. 이 생산 공장에는 46대의 용접용 로봇, 9대의 용접 로봇용 갠트리(Gantry) 시스템 및 2 라인의 물류 자동화 (FMS) 시스템이 구축되어 있다.

용접 속도의 고속화 기술을 구현하기 위하여 표준 MIG 펄스용접 기법을 기본으로 하여 한 개의 가스 노즐에 두 개의 용접 와이어를 동시에 송급 및 용융시킬 수 있는 MIG 펄스 탄템용접 기법이 개발되었다. 많은 경우에 1대의 갠트리 시스템에 두 대의 용접 로봇을 장착하여 4 개의 용접와이어를 동시에 사용해서 용접을 실시한다. 알루미늄 용접용 로봇은 용접품질 확보에 가장 중요한 요소 중에 하나인 연성 알루미늄 와이어의 원활한 송급성을 보장하기 위하여 용접 토치에서 가장 가까운 부분인 로봇 관절부위에 푸시-풀 방식의 와이어 송급장치를 장착한다. 토치 드라이브(Torch drive)라고 불리는 이 와이어 송급 장치는 단일 용접 및 탄템

용접 프로세스 모두에 사용할 수 있으며 와이어 송급 부위의 막힘 및 와이어의 휨 현상 없이 등속의 와이어 송급 속도를 보장한다.

2.2 갠트리 시스템

갠트리는 구조 형상과 이송용 레일의 부착 형태에 따라 분류할 수 있는데, 양쪽 측면부 바닥에 이송용 레일을 설치한 전면 갠트리, 공작 대상물의 형태에 따라 결정되는 수직축 추가 여부, 레일 한 쪽은 바닥, 다른 한 쪽은 공장 벽에 설치하는 형태의 세미 갠트리, 초대형 대문 형태의 대형 갠트리 등 여러 형태를 가지며, 이 갠트리에는 용접로봇의 다양한 설치가 가능하다.

갠트리의 구조 및 형태는 용접구조물의 크기 (길이, 높이, 폭) 만이 아니고 소재의 흐름(물류) 및 생산자의 고유 생산방식까지 고려하여 결정된다. 구체 대조립 부품의 용접 시스템을 예로 들어 3 대의 용접 스테이션으로 시스템을 구성하면 각 스테이션의 측면으로 크레인을 사용하여 차체를 독립적으로 이송 및 개별 용접작업이 가능하고, 2 대의 용접 스테이션으로 시스템을 구성하면 용접 부품들은 두 스테이션의 용접작업이 연관되어 분할되며 스테이션 간의 앞 뒤 물류이동이 이루어지게 된다. 최종 차체 조립부의 일괄 용접시 측벽 구조물의 수평 용접 조인트들은 바닥에 설치한 전용 레일에 장착된 용접용 캐리지의 사용으로 갠트리와 동시용접이 가능하므로 생산성을 크게 향상시킬 수 있게 시스템을 구성할 수도 있다.

2.3 센서 장치

로봇으로 용접하는 경우 토치가 용접 그루브를 정확하게 추적하는 기능은 열변형이 심한 알루미늄 용접시 가장 중요한 핵심기능 중에 하나이다. 알루미늄 용접에서는 높은 전기 전도성 때문에 일반 강재용접에서 대부분 사용하는 용접전류의 변화를 이용한 그루브 센싱기능의 사용이 불가능하므로 알루미늄 용접용 로봇은 일



Fig. 3 Gantry system for MIG welding



Fig. 4 Laser camera sensor for weld seam tracking (iCAM)

반적으로 레이저 카메라 시스템을 사용한다. 레이저 카메라 센서의 주요기능은 다음과 같다.

- 용접선의 시작 및 끝 점 검출
- 용그루브 위치의 정확한 3 차원 추적
- 용접 그루브의 구조와 형상측정, 그 변화에 따른 용접 파라미터의 자동 선택

레이저 카메라 센서의 3번째 기능을 사용하여 갭 크기의 측정과 갭 크기의 변화에 따른 용접량의 보정이 가능하다. 갭 크기에 있어서 수 밀리미터 정도의 변화량을 정확하게 측정하고, 측정결과에 따른 와이어 송급 속도 조정 등 용접에 변화를 주면서 연속 보정하여 갭 변화가 없을 때와 동일한 용접 결과를 만들어 낸다.

2.4 용접로봇 시스템의 보조장치

갠트리를 사용한 용접로봇 시스템에서는 용접장비 외에 용접 전, 후 처리 및 여러 가지 보조기능을 수행할 수 있는 장치들을 장착하여 관련 작업을 수행할 수 있다. 예를 들면, 예열을 위한 화염 토치, 용접 흡 흡입장치, 부품의 갭을 줄이기 위한 압착장치, 용접부위 청소를 위한 브러싱 장치, 용접비드 절삭을 위한 밀링 장치 등이다.

3. 로봇용 마찰교반용접 장비

3.1 MIG 용접과 마찰교반용접의 비교

마찰교반용접(FSW)의 원리는 1991년 영국 TWI (The Welding Institute) 에서 고안하여 특허등록을 한 것이다. Figure 5에 나타난 개념도와 같이 드럼 내부에 장착된 프로파일 형상의 회전핀에 힘을 가하여 용접 접합부로 천천히 파고 들면서 모재에 물리적인 자극을 가하여 접합이 가능한 플라스틱 상태로 변환시킨다. 이는 드럼이 조인트부위를 따라 회전하면서 마찰 및 열을 받

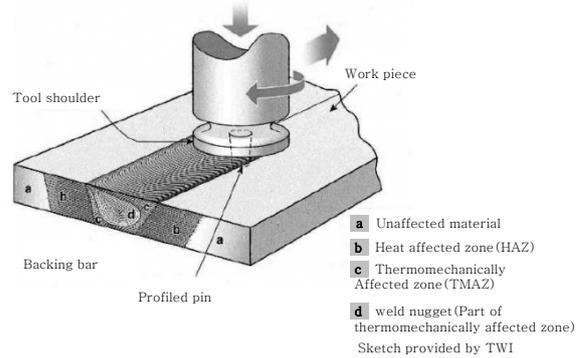


Fig. 5 Principle of FSW (Courtesy of TWI)

생시킨 결과이다. MIG 프로세스 용접과 비교하여 다음과 같은 주요 차이점이 있다.

- 용가재 및 보호가스 불필요
- 용접흡에 대비하는 보호장비 및 필터 시스템 불필요
- 용융 없이 분자 결합 정도의 결합이 가능
- 갭 변화에 대한 대응이 양호
- 용접부 산화영향 부재
- 기공 및 스패터가 발생하지 않고 깨끗한 용접비드
- 매우 낮은 열입열 및 재응고용 액체상태 미 발생
- 열변형의 최소화
- 빠른 용접속도(약 2 m/min)

3.2 마찰교반용접용 장치의 특성

마찰교반용접 공정의 적용을 위하여 여러 가지의 기구운동학적인 고려를 응용한 용접 헤드용 이동장비의 구성이 필요하다. 기본적인 조건으로 용접 실행시 가해지는 고강도의 힘을 제어할 수 있는 기능 및 견고성이 필요하고 회전핀의 방향을 조정할 수 있도록 제어 또는 작동 프로그램의 작성이 가능한 축 들이 구성되어야 한다. 이러한 기능을 만족하는 기본적인 장비의 형식 및 장단점을 나열하면 Table 1과 같다.

Table 1 Type and feature of FSW equipment

용접장치의 형식	장점	단점
평행 이동 형식	고부하 가능, 견고성, 높은 반복정밀도	높은 단가, 작업 영역 제한
갠트리 형식	고부하 가능, 견고성, 높은 반복정밀도, 작업영역 확장	높은 단가, 다양한 형상 적용 문제점
개조형 CNC 기계 형식	낮은 단가, 고부하 가능, 견고성, 높은 반복정밀도	협소한 작업영역
로봇 사용 대형 갠트리	낮은 단가, 작은 반경의 곡선용접 가능, 3차원 가능, 작업공간 대형화, 견고성 확보, 작업의 유연성, 더블 용접 헤드 사용 가능	용접시 압착력 제한 (제한된 로봇의 가반중량)



Fig. 6 Robot for FSW(attached with welding head and sensors)

3.3 로봇과 용접 장치

마찰교반용접에 사용되는 로봇은 가반중량이 매우 커야 한다. 핀을 포함한 회전 장치들을 움직여야 하지만 이 보다는 용접시에 필요한 힘을 전달하는 역할이 가반중량 결정에 더욱 막대한 영향을 미친다. 실험을 통해 용접시 수직하강 힘은 7000N 이상이 필요한 것으로 측정되었고, 용접 진행방향으로 장비를 밀어주는 힘은 약 500 N 으로 측정되었으며 용접 진행방향의 측면 방향으로 미치는 힘은 무시해도 될 정도로 미세 하였다. 각 방향으로 미치는 힘을 종합하여 본다면 마찰교반용접에 적용되는 로봇은 최소 8000 N 의 가반중량을 가져야 한다.

3.4 센서 장치

기본적으로 마찰교반용접 자동화 장치에는 힘 측정센서 및 용접선 추적 센서, 두 종류의 센서 장치가 필요하다. 로봇의 관절 축에 부착된 3 방향 힘 측정센서는 장비 작동시 연속적으로 작용하는 힘을 측정한다. 용접구조물의 수직 방향의 편차를 보정하기 위하여 로봇의 소프트웨어는 용접시 작용하는 힘을 균일하게 유지하여야 한다.

용접선 추적을 위하여서는 레이저 카메라가 센서가 사용되며 회전 스피들 전면부에 장착되어 용접 진행 전면 방향을 추적한다. 카메라는 용접 로봇에 장착된 회전편이 정확하게 용접선을 추적하도록 하며, 용접선의 모든 편차 및 용접 중 변화를 감지하여 용접 로봇의 이동궤적을 제어한다.

3.5 마찰교반용접용 갠트리 시스템

고강도의 마찰교반용접 작용력을 접합부위에 전달하기 위하여서는 최대의 견고성을 갖추도록 설계된 로봇용 갠트리가 필요하다. 갠트리의 양쪽 측면의 기둥은 백러쉬 방지를 위하여 예압이 가해진 랙-피니언 방식으

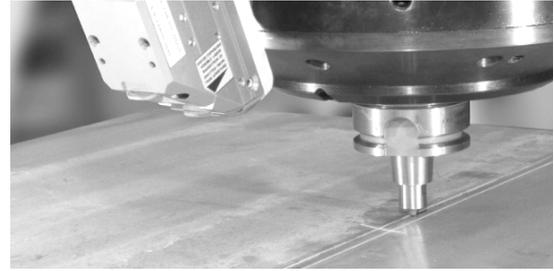


Fig. 7 Laser camera sensor for FSW

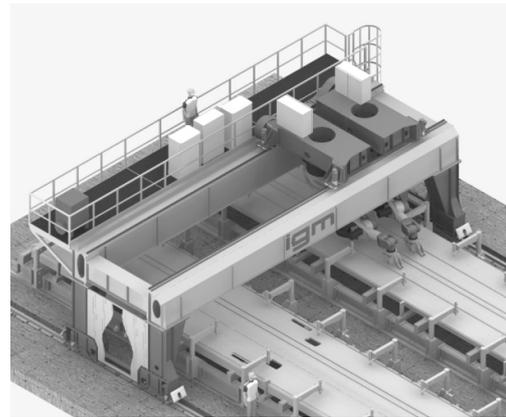


Fig. 8 Gantry system with 2 robots for FSW

로 구동되며 각각 NC제어 축으로 구성되어 로봇 축과 동일하게 제어된다.

용접 실시중의 변형 및 진동을 방지하기 위하여 강도가 높은 구조의 프레임 에 FEM (Front End Module) 방식을 적용하여 제작되었다. 프레임의 상부에 대형 플랫폼 홈을 설치하여 제어 캐비닛을 비롯한 모든 제어부를 적재하고 이송하는 구조로 되어 있어 편리성을 확보하는 것이 좋으며, 필요시 통신망(WLAN)을 통한 사내 생산 및 재고관리 프로그램 등에 적용 할 수 있는 것이 좋다. 필요 생산량에 따라 갠트리는 1 대 또는 2대 의 로봇이 장착될 수 있다. 설계 형식에 의거 2 또는 3 대의 용접 작업 스테이션을 갖출 수 있으며, 갠트리의 주행길이는 일반적으로 100 미터 정도로 구성되며 필요 시에는 500 미터까지도 확장이 가능하다. 갠트리의 폭은 나란히 인접하여 구성된 2 대의 용접 작업스테이션을 커버하기 위해서는 최소 2 미터의 주행 폭이 요구되지만, 필요에 따라 최대 11미터까지 확장이 가능하다.

3.6 용접 대상물 고정장치

용접 대상물은 고정장치로 고정이 되지만 마찰교반용접 헤드 주변 영역에는 고정 및 위치 잡기를 위한 추가 고정 장치가 필요하다. 각 로봇 들은 손목 관절축 부위

에 고정용 롤러가 부착된 압착 장치가 부착된다. 용접을 실시하면서 주 고정장치는 전체 용접구조물을 1차로 고정시키며 이에 추가하여 고정용 롤러는 용접선을 따라 주행하며 용접 조인트의 주변 부위에 압착을 가하여 용접 조인트 사이에 발생하는 갭의 크기를 최소화한다. 또한 갠트리 프레임에도 추가로 압착 장비 및 용접 조인트 청소 장비 등의 부착이 가능하다.

3.7 용접 시험 결과

시험의 테스트 용접결과 마찰교반용접은 매우 균일한 용접품질을 낼 수 있는 신뢰성 있는 용접 방식이라는 것이 증명되었다. 용접 테스트용 자재로는 부식 마모에 아주 강하고 열에 대응력을 갖추고 있으며 또한 중간 정도의 강도를 지닌 A6005-T6 알루미늄 합금소재를 사용하였다. 이 소재는 또한 사출성형이 용이하여 철도차량 및 대형버스 등의 차체에 사용되는 프로파일 구조의 재료로 많이 사용되고 있는 알루미늄 합금이다.

테스트 용접용 사출 판넬의 두께는 4mm 이고, 로봇의 용접속도는 150 cm/min, 회전 스피들의 회전속도는 2900 rpm, 용접용 압착력은 7500 N으로 하였다. 수직 방향의 편차 또는 변형은 로봇의 관절축에 장착된 압착장비에 의하여 보정되며 수평방향의 편차 또는 변형은 레이저 카메라에 의한 용접선 추적으로 보정된다.

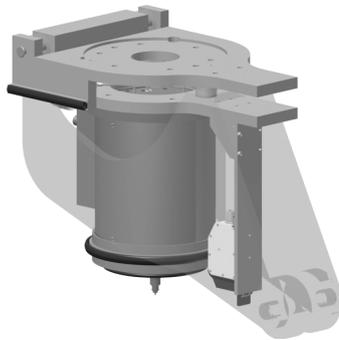


Fig. 9 Welding head for FSW (with spindle, pin, camera, and pressure roll)

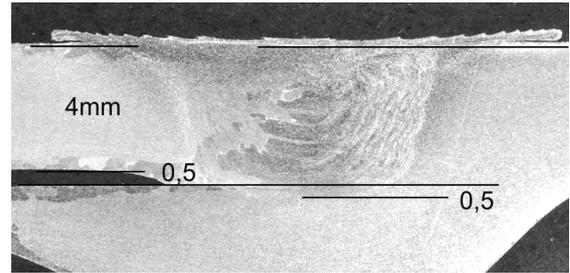


Fig. 10 Weld section of FSW specimen

4. 결 론

로봇을 사용한 고속 열차용 알루미늄 부품의 MIG 용접은 최고의 기술력을 필요로 한다. 온라인 레이저 카메라의 채용으로 용접선의 정확한 트랙킹 및 용접 파라미터의 실시간 수정이 가능한 기능이 요구된다. 이러한 기능으로 인해 갭의 크기 변화에 상관없이 용접 그루브에 대한 일정한 비드를 가지는 용접이 가능해진다.

매우 높은 용접품질의 신뢰성을 가진 마찰교반용접은 최근 고속 접합 기술로 인정되어 현장 적용이 증가되고 있다. 이 용접법이 가지고 있는 고속의 용접속도, 아크 및 흠의 미발생, 그리고 용접 접점 부위의 액화상태의 미발생 등의 월등한 장점들은 고비용의 대형 갠트리 시스템이 필요함에도 불구하고 경제적인 대안으로 여겨지게 되는 요인이다. 레이저 카메라의 사용으로 정확한 용접선 추적이 가능하도록 구성된 마찰교반용접용 로봇 시스템은 곡선부위 용접에도 문제없이 적용할 수 있어 생산현장 적용의 유연성을 갖추고 있으므로 향후 적용의 확대가 전망된다.



- 이상철
- 1957년생
- (주) 아이 지 엠 로봇 코리아
- 용접 자동화 시스템
- e-mail : sclee@igm-korea.com