

수송기기용 경량합금의 용접기술 동향

길 상 철*, 김 환 태**

한국과학기술정보연구원 책임연구원*

한국과학기술정보연구원 전문연구위원**,

1. 서 론

21세기 들어 세계 경제는 지식과 정보의 창출, 확산 및 활용을 직접 기반으로 하는 지식기반 경제로의 이행이 가속화되고 있다. 최근의 자동차, 항공기와 같은 수송기기의 경량화와 관련하여 중량이 가벼우면서 인장강도와 항복강도가 높고 가공성, 성형성, 내식성이 좋은 알루미늄 합금과 고강도, 고인성 마그네슘 합금의 용접기술의 중요성이 한층 더 높아지고 있는 추세이다. 알루미늄 합금과 마그네슘 합금의 용접은 경량화 기기 부품의 생산성을 향상시키는 중요한 공정중의 하나로서 제품의 질을 결정하는 요인으로 인식되고 있으며, 특히 자동차, 항공기, 선박 산업이 발달할수록 부가가치가 높은 알루미늄 합금과 마그네슘 합금 부품의 제조과정에 용접공정의 사용은 점점 확대되고 있다. 금번 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 고경력 과학기술자의 전문 지식을 활용하여 앞으로 국가의 과학기술경쟁력을 향상시키기 위해 기계, BT, IT, 화학, 환경에너지 기술분야의 국내외 연구개발동향과 주요국의 기술정책을 분석하고 우리나라의 연구개발방향을 제시하는 프로그램을 진행하고 있다. 본고에서

는 자동차, 선박, 항공기 산업에서 알루미늄 합금과 마그네슘 합금을 용접할 때 생산성이 뛰어나고 이음부의 품질이 우수한 생산기술로 사용되는 최신의 용접기술을 범위로 하여 미국, 유럽, 일본과 우리나라에서 수행되고 있는 기술 및 연구개발 동향과 기술특성을 조사하고 분석하였다.

2. 국내외 기술 동향

1). 해외 개발동향

먼저 알루미늄의 용접연구에 관해 발표된 국외의 연구개발을 보면, 미국 Wisconsin 대학은 Al 2219 합금의 GMAW 용접시 PMZ(partially melted zone)의 특성과 grain boundary liquation 생성을 조사, 영국 Cranfield 대학은 Al 2014, 2024, 6013, 7475 합금의 GMAW 용접성 평가, 일본 동북대학은 Al 1050 합금과 AZ31(Mg 합금)의 friction stir welding 기술 개발, 일본 오사카대학은 6N01-75 Al 합금의 aging 처리에 따른 용접열영향부에 관한 연구 등 알루미늄 합금의 용접성과 용접공정에 관해 많은 연구가 수행되고 있음을 보여준다. 수송수단 분야 알루미늄용접에 관한 학술정보를 기술분야별로 보면 선박의 laser-arc hybrid 용접, 항공기 용접부의 fitness for service, 레이저빔 용접을 이용한

자동차의 TWB, 용접변형의 방지와 robot 활용 등에 관한 용접시공이 가장 많이 발표되어 있고, 알루미늄 합금 용접부의 fracture, fatigue, corrosion-fatigue, stress corrosion cracking 등에 관한 용접장도, laser 용접 장치와 GMAW 용접 장치, 마찰교반용접의 modelling 등에 관한 용접 공정, 알루미늄 합금 용접부의 hot cracking, Al-Li, AA5754, AA2519 합금의 weldability, AA6082 합금의 PWHT(Post Weld Heat Treatment), 알루미늄 용접부의 failure 해석 등에 관한 용접야금순으로 발표되었다. 마그네슘 합금의 경우는 Colorado School of Mine에서 AZ80 마그네슘 합금의 TIG 용접(GTAW, gas tungsten arc welding)시 아르곤 또는 헬륨의 보호가스중에 혹은 질소 가스를 첨가하여 와이어의 용융과 용접부의 용입을 증가시키면서 기공을 방지하기 위한 기술과 플럭스의 도움을 받는 TIG 용접(FA-GTAW)기술을, Univ. of Texas에서 1.5mm 두께의 AM60 마그네슘 합금 박판재료와 AZ31B 마그네슘 합금의 마찰교반용접 기술을, Ford 자동차에서 다이캐스팅 마그네슘 합금 부재의 대기 분위기(nonvacuum) 전자 빔 용접기술을, Pennsylvania State Univ.에서 다이캐스팅 마그네슘 AM60B의 레이저 빔 용접시 기공의 발생 기구와 방지에 관한 기술 등을 연구하고 있다. 독일의 경우는 Technische Univ. Clausthal에서 CO₂ 레이저 빔 용접을 사용하여 표면이 우수하고 용입이 깊으며 균열이 발생하지 않는 마그네슘 합금 용접부의 제조기술을, Univ. of Hanover에서 마그네슘 박판재료의 대기 분위기 전자 빔 용접기술을, Technische Univ. Braunschweig에서 마그네슘 합금의 MIG 용접부의 피로성능을 향상시키는 기술 등을 연구개발하고 있다. 일본 Osaka 대학교는 마그네슘 합금의 MIG 용접시 용적이행을 개선하기 위한 펄스 용접기술과 AZ91D 마그네슘 합금 박판의 마찰교반용접기술을, Nihon 대학교에서 AZ31, AZ80 마그네슘 합금의 전자 빔 용접, 마찰압접, TIG 용접기술을, Niigata 대학교에서 AZ31B 마그네슘 합금의 초음파 접합, 스팀 용접기술을, Nagaoka 대학교에서 마그네슘 합금 박판의 레이저 빔 용접에 미치는 레이저 빔의 파장과 실드 가스의 영향에 관한 기술 등을 개발하고 있다. 이밖에도 이스라엘에서는 AZ91D 마그네슘 합금 판재의 전자 빔 용접기술과 마그네슘 합금 TIG 용접부의 생성되

는 용융역(partially melted zone)의 미세조직 분석에 관한 기술 등을 개발하고 있다.

2). 국내 개발동향

국내 알루미늄 합금 용접기술의 경우 지난 10년간 대한용접학회지에 발표된 경량 용접구조물용 알루미늄 합금소재의 개발을 포함한 연구개발 논문을 중심으로 정리한 자료의 연구분야별 개발동향을 보면, 저항용접, GMAW/GTAW, 마찰용접, 레이저빔 용접, 브레이징 등으로 이루어지는 용접공정분야의 연구가 매년 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편 알루미늄 합금 용접연구 기술논문가운데 대학교에서 73%, 산업체와 공공출연연구소에서 27%를 수행하여 현재까지는 실험실 규모의 기초기술에 관한 연구가 주를 이루어 온 것으로 분석된다. 국내의 마그네슘 합금에 대한 용접기술의 연구개발은 2001년 이후 성균관대학교와 포항산업과학연구원을 중심으로 마찰교반용접기술의 연구와 개발이 진행되고 있다. 대한용접학회지에 발표된 내용을 중심으로 구체적인 연구내용을 살펴보면, 성균관대학교에서 AZ31-H24 마그네슘 합금의 마찰교반용접시 용접속도에 따른 용접부의 인장강도를 분석하고 용접생산성을 높이기 위한 연구개발을, 포항산업과학연구원과 성균관대학교에서 Zn과 희토류 금속인 Y이 첨가되어 연성이 10~20% 향상된 ZW41A 마그네슘 합금과 내해수성, 성형성, 용접성이 우수하여 선박용 구조재, 연료탱크 등에 사용되는 Al5052 알루미늄 합금과의 이종재료 마찰용접부에 대해서 양호한 용접부를 얻기 위한 용접기술을, 그리고포항산업과학연구원에서 열간 압연 처리한 AZ31-H24 마그네슘 합금의 마찰교반용접부의 미세조직 변화에 따른 기계적 성질의 평가에 관한 기술과 자동차 산업에서의 마그네슘 합금의 용접기술에 관한 내용을 발표하였다.

3. 용접기술 적용에

1). 저항용접

두께가 0.6mm인 AZ31 마그네슘 합금 판재와 1050 순 알루미늄 합금판재를 겹치기로 조합하여 단상 교류에서 가압력을 일정하게 유지하고 용접 시간을 바꾸어 가며 점용접을 실시한 결과 용접 전류가 15kA, 20kA의 경우 용접시간이 증가할수록 인장 전단하중은 증가하여 8~10 사이클에서

최고값(20kA의 경우 830N)을 보인 후 감소하였다. 그리고 용접전류가 10kA인 경우 용접시간의 증가에 관계없이 인장 전단하중은 일정한 값(250~300N)을 보였다. AZ31 마그네슘 합금 판재와 1050 순 알루미늄 합금 판재의 사이에 상온(常溫) 경화형 에폭시계 웰드본드용 접착제를 0.3mm의 두께로 도포하여 점용접을 실시한 결과 용접시간이 증가할수록 인장 전단하중은 증가하여 8 사이클에서 최고값(1,400N)을 보였으며, 이보다 용접시간이 길어지면 용융이 과대하게 일어나 용접금속 내부에 결함이 발생하여 인장 전단하중은 감소하였다. 또한 접착제를 사용한 웰드본드 이음부는 알루미늄 합금 판재와 마그네슘 합금 판재를 직접 겹치기하여 점용접한 이음부에 비해서도 파단하중이 높은 값을 나타냈다.

2. 레이저 빔 용접

최근 판재의 프레스 성형기술 개발과 압출재의 양산에 따라 마그네슘 합금에 대한 용접 연구가 많이 실시되고 있으며, 특히 자동차의 경량화 추세에 따라 다이캐스팅과 같은 마그네슘 주물에 대한 용접이 중요하게 되었다. 독일의 경우는 국가 프로젝트로 자동차 부재에 대한 마그네슘 합금의 활용을 적극적으로 추진하고 이에 따른 레이저 빔 용접과 프레스 가공의 응용연구도 상당히 진척되어 있다. 연속파형의 ND-YAG 레이저 빔의 출력을 바꿔가며 마그네슘 합금 AZ31B, 티타늄, 알루미늄 AI5052, 그리고 연강 SS400을 용접하여 용입특성을 비교하여 보면, AZ31B는 1kW에서는 용입이 거의 없으나 2kW로 출력이 높아지면 티타늄, SS400과 비슷하게 용융되어서 비슷한 크기의 용입을 갖는다. 마그네슘 합금은 동일한 온도에서 점성과 표면장력이 다른 금속에 비해 낮아서 용락이 발생하기 쉬우며 특히 마그네슘은 증기압이 높아서 금속증기와 여기에 기인되는 플라즈마의 영향이 크므로 이러한 점에 주의해야 한다. 테일러드 블랭크 용접(tailored blank welding, TBW)에서는 용접부의 프레스 가공이 중요하므로 용가재 와이어를 첨가해서 용착부족을 해소하여서 비틀림 성형시 과도한 응력에도 견딜 수 있도록 해야 한다. 한편 용가재 와이어를 사용하지 않은 경우의 레이저 빔 용접부의 피로강도는 원모재의 48%이나 용가재 와이어를 사용하는 경우에는 원모재의 55%까지 향상된다. 따라서 마그네슘 합금의 레이저 빔 용접에서 프

레스 가공을 받거나 또는 반복되는 응력을 받는 부분에 대해서는 용가재 와이어를 사용하는 것이 매우 중요하다. 용접가능한 다이캐스팅 알루미늄을 생산하는 새로운 다이캐스팅 기술인 PF법(무공성 다이캐스팅법)과 일반적인 다이캐스팅으로 제작한 마그네슘 합금의 용접성을 비교하면, 일반적인 다이캐스팅으로 제작한 마그네슘 합금 용접부의 단면에는 직경이 1mm인 기공들이 많이 확인되고 그곳의 가스 성분은 다이캐스팅 작업시 공기의 혼입에 의한 질소가스가 많이 검출된다. 틱소몰딩법으로 제조된 두께 2mm의 AM60B 마그네슘 합금을 용접한 결과, 탕구에 가까운 곳에서 채취한 시편의 용접부에 기공들이 많이 발생하였으며 다이캐스팅의 위치에 따라 많은 차이를 보였다. 따라서 틱소몰딩법으로 마그네슘 합금을 제조하는 경우, 용접위치를 고려하여 구조 방안을 작성함으로써 기공이 작은 용접이 가능하다.

4. 결론

현대의 자동차, 항공기, 선박 등 수송기기의 경량화와 관련하여 알루미늄과 마그네슘 합금의 사용량이 증가함에 따라 경량합금의 용접기술에 대한 수요가 많을 것으로 전망된다. 최근 미국, 일본을 비롯한 선진 외국들은 경량합금의 활용을 위한 연구개발에 힘을 쏟고 있으며, 이에 대비하여 국내의 자동차 산업을 포함한 고부가가치 산업은 점차 치열해지고 있는 세계 시장에서 살아 남기 위하여 경량합금의 용접기술 개발을 통한 생산성 향상과 엄격한 품질의 요구를 만족시킬 수 있도록 연구개발에 집중적인 투자를 할 필요가 있다. 한편 미래의 첨단 용접기술인 마찰교반용접과 laser-arc 복합 용접인 hybrid joining 기술에 대하여 일본과 미국, 유럽의 연구기관들은 연구개발 활동이 매우 활발하고 많은 결과물이 특허출원 되어 있는 반면에 국내기관들의 연구개발은 전반적으로 미약한 수준에 머물러 있는 실정이다. 따라서 우리나라의 수출주력품이고 부가가치가 높은 산업인 자동차, 조선, 전자·전기, 통신산업의 세계적인 우위를 계속 유지하고 해외 수출 시장을 확보할 수 있도록 미래의 첨단 용접기술의 개발을 촉진하기 위해 국내의 연구개발사업에 국가의 적극적인 지원을 강화할 필요가 있다.