

Al-Si 주조용 알루미늄 합금의 마찰교반접합성에 미치는 용접변수의 영향

Effects of welding parameters on the friction stir weldability of Al-Si casting aluminum alloy

이 원 배, 방 극 생, 연 윤 모*, 정 승 부

성균관대학교 신소재 공학과
수원 과학대 자동차 용접과*

1. 서론

마찰교반용접법 (Friction Stir Welding) 은 1991 년 영국 TWI에서 알루미늄 합금의 Butt-Welding 용으로 개발되어 용접부내에 기공, 균열, 뒤틀림 등 용접균열이 없는 양호한 접합부를 얻을 수 있도록 하였다. 기존의 보고에 의하면 알루미늄 압출재의 경우 가공경화형 알루미늄 합금(3000계, 5000계)의 경우 넓은 범위에서 용접결함이 없는 우수한 용접특성을 얻을 수 있었으며 용융용접에 비해 치밀한 용접부의 미세조직을 얻을 수 있고 비교적 빠른 용접속도에서도 용접이 가능하여 상업적인 측면에서도 우수하다는 연구 결과를 얻을 수 있었다. 반면 석출경화형 알루미늄 합금의 경우는 FSW가 고상접합법 임에도 불구하고 용접 도중 발생하는 용접열에 의해 강화상들의 소멸로 인하여 가공경화형 합금에 비해 그 용접 범위가 좁다는 연구 보고가 있고 후 열처리에 의해 이를 극복할 수 있었다. 그러나 알루미늄 압출재에 대한 연구보고는 꾸준히 발표되고 있으나 국내는 물론 국외에서도 주조재의 용접성에 대한 보고는 거의 없는 실정이다.

주물 및 다이캐스팅용 Al 합금은 Al-Si 계를 기본으로 하고 있으며 Al-Si 2원계합금 및 여기에 소량의 원소 Cu, Mg, Ni등을 함유한 다원 Al-Si 계 합금이 주조용 합금으로서 이용되고 있다. 이것은 주물과 다이캐스팅 주조에 있어서 중요한 특성인 용탕의 유동성, 주형 충전성등이 다른 합금에 비하여 우수하고, 주조결함이 거의 없으며, 다른 원소를 첨가하여 강도를 높일 수 있고, 낮은 열팽창계수, 내마모 특성이 우수하기 때문이다. 이러한 특성으로 인해 엔진내부의 피스톤 밸브 및 자동차 휠 재료 등으로 그 사용이 증가되고 있다. 따라서 본 연구에서는 대표적인 알루미늄 주물재인 AC4C-H를 이용하여 마찰교반접합법의 적용가능성을 고찰하고자 한다.

2. 실험 방법

본 실험에 사용된 재료는 알루미늄 주물재인 AC4C-H를 사용하였으며 재료의 화학적 조성 및 기계적 특성은 table 1에 나타내었다.

Table 1 Chemical composition of AC4C-H

Al	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	Pb	Ti	Sn	Cr	U.T.S.	Y.S.
92.02	7.006	0.126	0.096	0.05	0.252	0.002	0.007	0.009	0.154	0.004	0.008	188MPa	10.7MPa

주조된 AC4C-H ingot을 와이어 방전 가공기를 이용하여 길이 140mm, 너비 70, 두께 4mm로 가공하여 접합을 실시하였다. 접합에 이용된 장비는 기존의 밀링 장비를 이용하였으며 특별하게 설계된 tool (shoulder+pin)을 장착하여 접합하였다. 마찰교반접합 조건은 기존의 예비실험을 통해 얻은 결과를 이용하여 table 2 와 같은 조건으로 접합을 행하였다.

Table 2 FSW parameters

parameters	Tool material	Angle of tool	rotation speed	welding speed
condition	SKD11	3 °	1600rpm	87-267mm/min

각각의 조건에서 접합한 시편은 미세조직을 관찰을 위해 용접방향에 수직인 단면을 절취하여 광학현미경을 이용하여 관찰을 하였으며 용접속도가 접합부의 기계적인 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 용접방향에 수직인 방향으로 인장시편을 제작한 후 Instron 만능시험기를 이용하여 5mm/min 의 cross-head speed로 인장시험을 행하였다.

3. 실험 결과

용접속도를 87mm/min-267mm/min로 변화시켜 접합을 한 후 용접부의 표면 검사를 한 결과 87-187mm/min 까지는 시편의 top surface 와 rear surface 모두 양호한 표면 상태를 나타냈다. 그러나 용접속도가 267mm/min 인 경우 빠른 용접속도에 의해 충분한 교반이 되지 않아 용접부 표면에서 심한 결함이 존재하였다.

Fig.1은 용접부 단면의 미세조직을 나타낸 그림이다. 모재의 경우 전형적인 Al-Si(7% Si) 아공정 조직이 나타나고 있음을 알 수 있었으며 하얀 부분이 초정 α (Al) 고용체가 수지상으로 존재하며 검은 부분은 공정 (Si) 가 나타남을 알 수 있다. 용접부내의 SZ(Stir Zone)의 경우 모재의 조직에 비해 매우 미세한 조직이 나타나고 있음을 확인 할 수 있었으며 광학현미경으로는 정확한 Morphology는 관찰 할 수 없었다. 이런 미세한 조직의 형성원인은 기존의 연구보고에 의하면 마찰교반접합 중 발생하는 마찰열과 소성유동에 의해 동적재결정이 일어나기 때문이라고 보고되고 있다. SZ와 모재의 경계부분에서는 매우 극심한 Transition zone 이 형성되는데 이를 TMAZ(Thermo-Mechanical Affected Zone)이라 하며 모재에 비해 매우 극심하게 연신된 조직이 형성됨을 알 수 있다. 또한 tool 가 용접방향의 관계에 따라 연신된 정도가 다른 조직이 형성됨을 알 수 있다.

Fig.2 와 Fig.3 에서는 용접속도의 변화에 따른 인장강도, 항복강도 및 연신율의 관계를 나타낸 그래프이다. 전 용접범위에 대해 양호한 기계적인 특성치를 나타내고 있음을 알 수 있었다. 인장강도의 경우 용접속도가 127mm/min까지는 증가하는 경향을 나타내지만 187mm/min에서 약간 감소하는 경향을 나타내고 있었으며 그 이상의 용접속도에서는 용접시 결함발생으로 인해 측정할 수 없었다. 항복강도는 87-187mm/min 조건에서 모재의 항복강도와 거의 유사한 값을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 파단 위치는 모두 용접부에서 멀리 떨어진 모재였다. 연신율의 경우 모재와 거의 유사한 값을 나타내고 있으며 187mm/min 경우 가장 높은 값을 나타내고 있다. 위의 결과를 통해 마찰교반 압접을 이용하여 AC4C-H 접합한 결과 회전속도 1600rpm인 경우 용접속도 187mm/min이하의 넓은 용접범위에서 양호한 접합특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

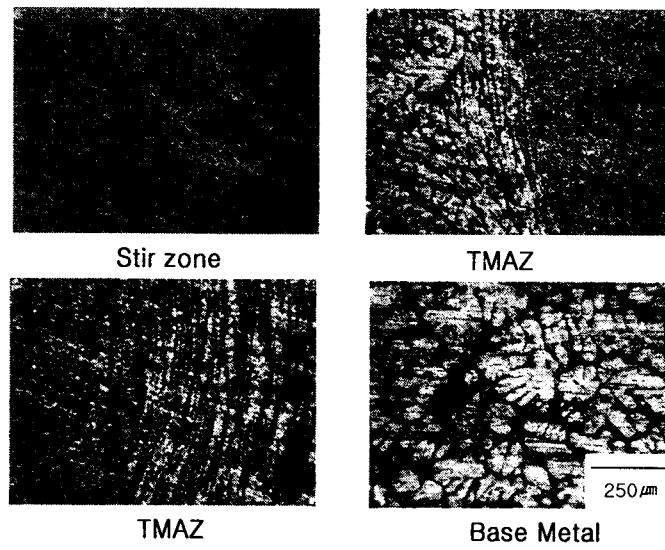


Figure 1 : Microstructure of FSWelded specimen

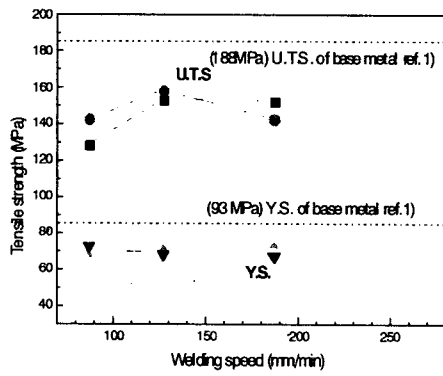


Figure 2: Relation between welding speed and ultimate tensile and yield strength

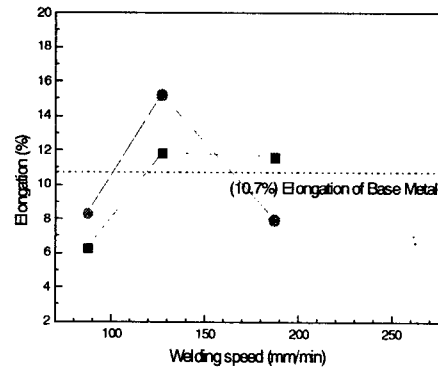


Figure 3: Relation between welding speed and elongation