

철도 차량용 알루미늄 합금의 용접기술 개발에 관한 연구

최 재호*, 강 덕일, 장 영섭, 김 용석

홍익대학교 금속 재료 공학과, 서울 마포구 상수동 72-1

1. 서론

석출 경화용 알루미늄 합금을 철도 차량 및 항공기 부품등의 구조용 재료로 사용하기 위해서는 알루미늄 재료간의 용접이 에너지 및 생산 원가 등의 절감에 있어 절실히 필요하다. 그런데 이러한 알루미늄 합금의 용접을 수행시 필수적인 고려 사항은 용접부의 우수한 용접성이라 할수 있는데 이와 같은 용접성이라함은 용접후 발생한 용접부중의 열영향부에서의 강도 회복 능력과 용접부에서의 균열 발생에 대한 저항성이다. 그리고 용접성에 대해 영향을 미치는 인자는 용접부에서의 기공 발생 빈도이다.

본 연구에서는 이러한 알루미늄 합금의 용접성을 향상 시키기 위해서 용접 비드 형상, spatter 발생 감소등의 측면 및 용접성 향상 측면에서 우수한 특성을 지니고 있다고 알려져 있는 spray transfer mode 조건을 결정하기 위해 두가지 용접봉 AA4043과 AA5356에 대해 laser back lightening system을 이용하였으며 이로부터 용접 변수-용접 전류, 용접 전압, 용접 속도, 보호 가스 유량-를 결정 하였다. 이렇게 결정된 용접 변수로 철도 차량용 알루미늄 합금을 용접한 결과 용접부에서 요구되는 인장 강도, 항복 강도를 만족하는 것을 알수 있었다.

그러나 용접부에서의 용접 균열이 관찰되어 이러한 균열 발생 원인을 규명하고 용접 균열 제어에 대한 방법을 제시하였다.

2. 실험 방법

철도 차량용 알루미늄 합금(AA6005)과 동일 계열인 AA6061을 모재(두께 : 3mm, 60×300)로 plate welding을 실시하면서 laser back lightening system 및 PC에 내장된 A/D board를 이용하여 spray transfer mode에 해당하는 용접 전류를 결정하였으며 이 조건에서 용접 전압(아크 길이)을 변화 시키면서 용접부의 기공 발생 빈도를 Image Analyzer를 이용하여 측정후 최소 기공 발생 조건에 해당하는 용접 전압을 결정하였다. 그리고 이 조건하에서 보호 가스의 유량을 변화 시키면서 최소 기공 발생 빈도 및 인장 시험에서의 최적 조건에 해당하는 보호 가스 유량 조건을 결정하였다. 마지막으로 용접 속도는 groove angle이 30° 일 때 용접봉의 용융속도와의 관계를 이용하여 이론적으로 계산후 실험을 통해 하부 비드가 충분히 형성될수 있는 속도를 결정하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

그림 1)과 같이 철도 차량용 알루미늄 합금의 충분한 비드의 형성을 위해 용접봉 용융 속도와 용접 속도의 관계를 식 1)과 같이 표현한후 이론적인 용접 속도를 구해본 결과 용접봉이 AA5356의 경우 0.93~2.71m/min이고 AA4043의 경우 0.73~2.13m/min의 범위로 계산되었다.

$$m = V \times A \times \rho \quad \text{식 1)}$$

m : 용접봉의 용융 속도 V : 용접 속도 A : 비드 단면적 ρ : 용접봉의 밀도

이때 용접봉의 용융 속도는 식 2)와 같이 주어지며 실험적으로 측정한 용접봉의 용융 속도는 그림 2)와 같다. 식 2)에 의하면 용접봉의 용융 속도는 용접 전류의 2차식으로 표현됨을 알수 있다. 따라서 실제 용접 전류에 따른 용접 속도를 나타낸 결과 그림 3)와 같았으며, 이는 이론적으로 구한 용접 속도보다 느리게 되는데 이는 실제 용접 비드의 단면적이 이론적으로 설정한 용접 비드

의 단면적보다 크기 때문이다.

$$m = \frac{(\phi + v_a + \frac{3}{2e}kT)I + \rho \frac{L}{A} I^2 + C}{\int_{T_m}^{T_s} C_{p(s)} dT + \Delta H_m + \int_{T_m}^{T_s} C_{p(l)} dT} \quad \text{식 2)}$$

이렇게 설정된 용접 속도 및 spray transfer에 해당하는 용접 전류로 아크의 길이(용접 전압)를 변화 시키면서 용접부 기공 발생 빈도를 조사한 결과 그림 4)와 같았으며 이로부터 적정 아크 길이를 결정하였다. 이러한 용접 조건에서 보호 가스의 유량을 변화 시키면서 기공 발생 정도를 조사한 결과 그림 5)와 같았다.

이로부터 본 연구에서 결정한 적정 용접 조건은 표 1)과 같다.

표 1) 적정 용접 조건

용접봉	용접전류 (A)	아크길이 (mm)	용접속도 (m/min)	보호가스유량(/min)
AA5356	193	0.14	1.12	28.32
AA4043	183	0.14	1.12	23.60

이렇게 설정된 용접 조건으로 압출재를 용접한 결과 철도 차량용 알루미늄 압출재의 용접부에서 요구 되는 기계적 성질은 표 2)와 같으며 Design Strength 8.7N/mm², Design Yield Strength 12.4N/mm²이상을 모두 만족하는 것을 알수 있다.

표 2) 용접부의 기계적 성질

용접봉	인장강도 (N/mm ²)	항복강도 (N/mm ²)	연신율 (%)
AA5356	19.57	16.59	3.35
AA4043	15.43	15.2	3.15

그런데 압출재의 용접부에서 용접 균열이 발생(사진 1)되는 것을 관찰할수 있었는데 이에 대한 원인은 적절하지 못한 압출 조건으로 인해 발생한 과도한 잔류 응력때문이며, 또한 모재의 미세조직(사진 2)에 원인이 있는 것으로 추정된다. 즉 사진에 나타난 바와 같이 압출재의 표면에서의 입도가 크게 성장한 것을 볼 수 있는데 이는 압출시 표면에 발생한 마찰열에 의하여 입도가 성장한 것이라 할수 있다. 이러한 과도한 입도 성장은 입계로의 용질 원소의 편석을 촉진 시켜 고온 균열의 발생을 촉진시킬 수 있다. 마지막으로 입계 편석을 촉진시키는 원소가 과다하게 재질내에 존재하는 경우에 용접시 용접 균열을 발생시킬 수 있다.

따라서 이러한 원인 분석을 통해 용접 균열 발생을 제어하는 방법을 마련해야 한다.

4. 결론

- 1) 적정 용접 속도를 결정하기 위해서 용접봉의 용융 속도를 구하고 이로부터 WFR에 따른 용접 속도를 결정하였다.
- 2) 용접 속도는 비드의 형상을 결정하는 인자로 작용한다.
- 3) 이렇게하여 얻어진 실험적인 결과와 이론적인 예측은 대체적으로 일치하는 것을 알수 있다.
- 4) 결정된 적정 용접 조건으로 용접된 철도 차량용 알루미늄 합금의 용접부는 요구되어지는 강도를 만족한다.
- 5) 용접부의 미세조직을 관찰한 결과 고온 균열이 형성된 것이 관찰되었는데 이는 동적 피로 강도를 급속하게 저하 시킬 가능성이 매우 크기 때문에 이의 발생 원인을 규명하고 방지책을 수립해야 한다.

5. 참고문헌

- 1) Y.-S. Kim, Metal Transfer in gas metal arc welding, Ph.D. Thesis, MIT, 1989
- 2) J.F. Lancaster, The Physics of welding, Second edition

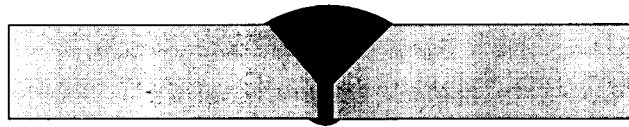


그림 1) 용접부 비드 모양

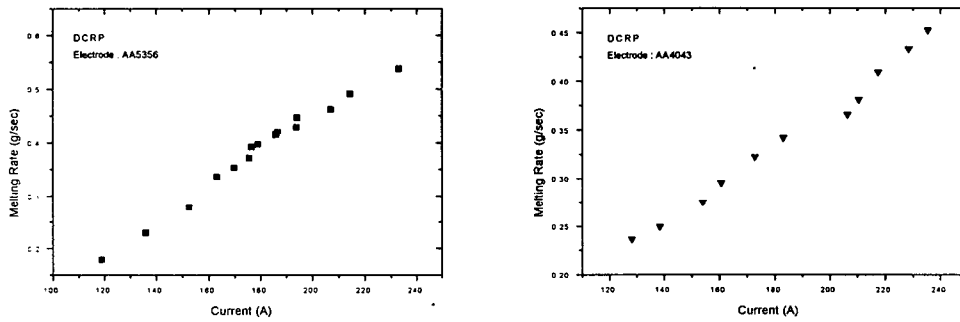


그림 2) 용접부 용융 속도

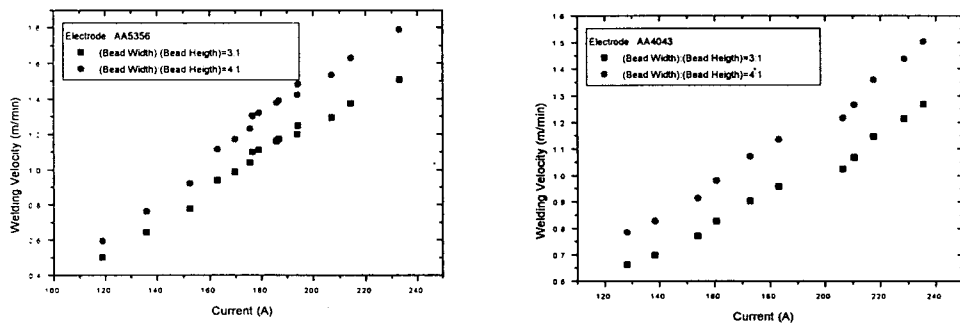


그림 3) 용접 전류에 따른 용접 속도

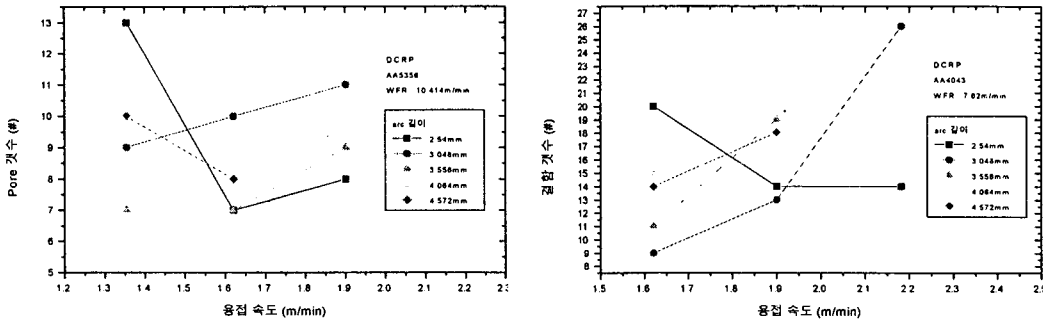


그림 4) 아크 길이에 따른 용접부 기공 발생 빈도수

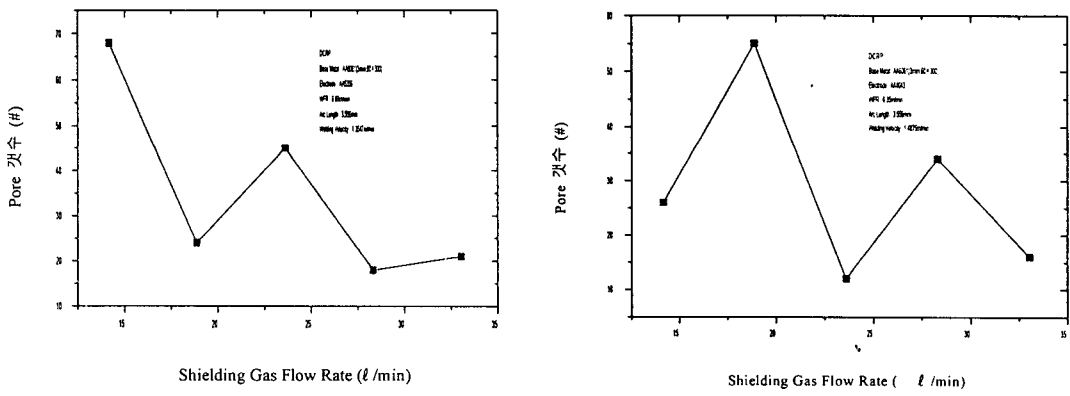


그림 5) 보호 가스 유량에 따른 용접부 기공 발생 빈도수

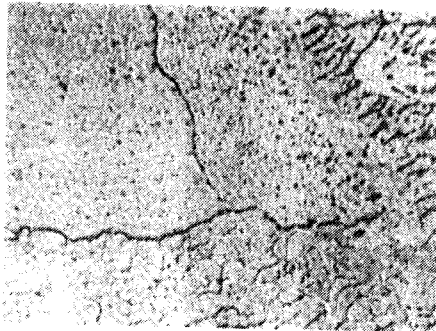


사진 1) 용접부 균열

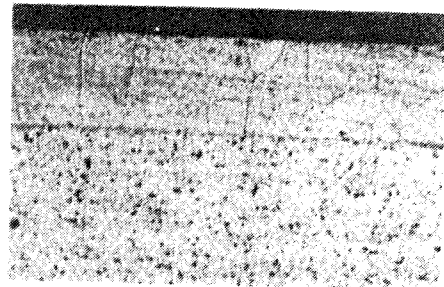


사진 2) 모재 표면 조직