

# 6005A합금 용접부에서 Liquation Cracking Susceptibility에 미치는 열처리 조건의 영향

최재호, 강덕일, 이동현\*, 김용석

홍익대학교, 금속 재료공학과, 서울시 마포구 상수동 72-1

\*동양 강철, 기술 연구소, 대전시 대덕구 대행동 273-2

## 1. 서론

알루미늄 합금은 비강도가 높고, 내식성이 우수하며, 충격 에너지 흡수성 등이 우수하기 때문에, 자동차 및 항공기 등의 수송 기계의 구조재료로서 많이 사용되어 왔다. 최근에는 이러한 알루미늄 합금을 철도 차량의 구체 재료로서 사용하기 위하여, 이들 용도에 적합한 압출성 및 기계적 특성을 가진 6005A, A7N01 합금 등이 개발되었다. 이들 재료는 대개의 경우 부품 형태로 압출된 후, 용접 공정을 통하여 철도 차량 구체로 조립된다. 따라서 이들 합금은 우수한 용접성을 갖추어야 하는데, 특히 용접시 고온 균열의 발생에 대한 저항성이 우수하여야 한다. 알루미늄 용접시 고온 균열 특히 liquation cracking은 용접 열영향부에서 용점이 낮은 입계가 용융되고, 이 부분에 작용하는 용접 잔류 응력에 의하여 균열로 발전하는 현상이다.

알루미늄 합금의 liquation cracking에 영향을 미치는 요인은 크게 세가지로 나눌 수 있는데, 원재료의 성분 및 미세 조직, 부품의 압출 및 열처리 조건, 용접 조건 등이 있다. 이들 요인들이 입계의 저융점상 분률 및 용접 잔류 응력의 크기에 영향을 미쳐, 궁극적으로 liquation cracking의 저항성에 영향을 미친다. 본 연구에서는 철도 차량의 바닥(floor) 압출재의 열처리 조건 및 용접 조건 특히 용접봉의 조성이 liquation cracking의 저항성에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 6005A계 철도 차량용 바닥 압출재는 용체화 처리 온도 이상의 온도인 450~500°C의 온도 범위에서 압출된 후, 상온까지 냉각된 후, 시효 처리 과정을 통해 제조된다. 이들 냉각 과정중, 재료내에 합금 원소로 첨가된 Si, Mg등은 입계에 편석을 일으켜서 저융점상을 형성하게 된다. 따라서 본 연구에서는 압출 후 재료의 냉각 속도가 liquation cracking의 저항성에 미치는 영향을 실험적으로 파악하고자 하였다. 또한 본 연구에서는 용접봉의 성분을 변화시키어 이들이 용접부의 liquation cracking에 미치는 영향을 조사하고자 하였다. 용접봉의 성분은 용접부 용점을 결정하는데, liquation cracking의 발생을 억제하기 위해서는 용접부의 용점이 입계 저융점상의 용점보다 낮아야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 압출재의 열처리 조건 및 용접봉의 성분이 liquation cracking의 발생 저항성에 미치는 영향을 파악하여, 철도 차량용 알루미늄 합금재의 제조 조건을 결정하는데 필요한 기초 자료를 확보하고자 하였다.

## 2. 실험 방법

(주) 동양 강철에서 바닥재로 압출한 6005A 합금(그림 1)을 이용하여 실험을 실시하였다. 재료 압출시의 열처리 효과를 제거하기 위하여 450°C에서 용체화 처리한 후, 균질화 처리를 550°C에서 실시하였다. 이렇게 열처리된 시료는 압출시의 냉각 속도를 모사하기 위하여 수냉, 공냉 및 노냉의 조건으로 상온까지 냉각시켰다. 이렇게 상온까지 냉각된 시료는 180°C에서 8시간동안 인공 시효시킨 후, 소모 전극식 아크 용접법으로 용접을 실시하였다. 이때 용접봉은 A5356 또는 A4043을 이용하였고, 용접 조건은 표 1에 나타내었다. 또한 압출재의 미세 조직 특히 입도의 크기가 liquation cracking에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 균질화 처리 시간을 7시간 또는 24시간으로 변화시켜 시료를 제조하였다. 이렇게 얻어진 시편의 용접부 단면을 절단하여, 광학 현미경 및 주사 전자 현미경을 이용하여 liquation cracking의 발생 여부를 조사하였고, 인장 시험을 실시하여 용접부의 기계적 성질을 평가하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

사진 1은 A5356 용접봉을 이용하여 소모성 전극 아크 용접법으로 용접을 실시한 시료의 용접부 단면 미세 조직 사진이다. 용접 열영향부에 부분 용융대가 존재하고, 열영향부의 입계가 용융되어 균열로 진전된 liquation crack이 관찰된다. 이와 같은 균열은 반복되는 하중을 받는 철도 차량 구체의 구조물내에 존재할 경우에는 피로 균열의 시발점으로 작용할 수 있기 때문에 치명적인 결함으로 작용할 수 있다.

표 2는 열처리 온도로부터 상온까지의 냉각 속도를 수냉 또는 노냉으로 변화시켜 제조한 시료의 용접부에서 발생한 liquation crack의 최대 길이를 나타낸 것이다. 이때 용접봉은 A5356을 사용하였다. 표에서 보면 수냉법으로 제조된 시료에 발생한 liquation crack의 길이가 노냉법으로 제조된 시료의 것에 비하여 1/5 정도로 감소하는 것을 볼 수 있다. 한편 이들 시료의 미세 조직을 주사 전자 현미경으로 관찰한 결과, 수냉된 시료의 용접 열영향부에서 발생한 입계 liquation 중 일부분만이 균열로 성장하는 것이 관찰되었다. 이와 같이 수냉된 시료에서 liquation crack의 길이가 작게 나타난 것은 냉각 과정 중 입계로 편석되는 합금 원소의 양이 노냉된 시료에 비하여 작고, 이에 따라 입계에 존재하는 저용점상의 분율이 감소하기 때문으로 생각된다.

균질화 처리 시간이 liquation crack의 최대 길이에 영향을 미치는데, 균질화 처리 시간이 7시간에서 24시간으로 증가함에 따라서 liquation crack의 최대 길이는 대체적으로 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 균질화 처리 시간이 증가함에 따라서 입도의 크기가 증가하고, 이에 따라서 입계에 형성되는 저온상의 부피 분율

이 상대적으로 증가하기 때문으로 생각된다. 용접봉의 조성도 liquation crack의 길이에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다. 즉 용접봉의 용융 온도가 상대적으로 낮은 A4043이 A5356에 비하여 liquation crack의 최대 길이 및 발생 빈도가 낮게 관찰되었다.

### 3. 결론

6005A 알루미늄 합금의 liquation cracking의 저항성에 미치는 열처리 조건과 용접 조건의 영향을 관찰하였다.

- 1) 조사된 요인 중 용접 열영향부의 liquation cracking의 저항성에 가장 큰 영향을 미치는 것으로는 압출 후 냉각 속도로 밝혀졌다.
- 2) 냉각 속도가 증가함에 따라서 균열의 발생 길이는 감소하는 것으로 관찰되었다.
- 3) 입도의 크기 및 용접봉의 조성도 liquation crack의 발생 길이에 영향을 미치는 것으로 관찰되었다.

### 5. 참고 문헌

- 1) L. A. Guitterez, G. Neye and E. Zschech, "Microstructure, Hardness Profile and Tensile Strength in Welds of AA6013 T6 Extrusion", Welding Journal Vol. 75, No.4, 1996
- 2) Gittos, N. F., and Scott, M. H. "Heat Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys" Welding Journal 60(6):95-s to 103-s, 1981

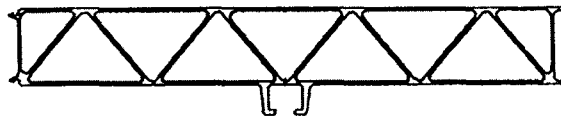
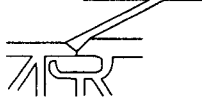


그림 1. 압출재 형상 (Floor Panel)

Welding Process	MIG (Automatic)	Base Metal	6005A
Joint Configuration			
Joint Description	Single Vee Groove Butt Joint		
Welding Wire	E 4043, 1.2 φ	Shielding Gas	Ar 100%
Wire Feeding Rate	7.62 m/min	Gas Flow Rate	24 ℓ/min
Welding Current	183 A	Welding Voltage	25 ~ 26 V
Welding Speed	0.6-0.7 m/min	Polarity	DCRP

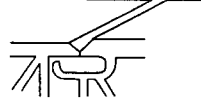
Welding Process	MIG (Automatic)	Base Metal	6005A
Joint Configuration			
Joint Description	Single Vee Groove Butt Joint		
Welding Wire	E 5356, 1.2 φ	Shielding Gas	Ar 100%
Wire Feeding Rate	10.4 m/min	Gas Flow Rate	28 ℓ/min
Welding Current	193 A	Welding Voltage	25 ~ 26 V
Welding Speed	0.6-0.7 m/min	Polarity	DCRP

표 1. WPS (용접 절차 사양서)



사진 1. 용접부 단면 미세 조직 사진 (A5356)

열처리 조건	용접봉	A5356
균질화 처리후 수냉		0.75mm
균질화 처리후 노냉		3.8mm

표 2. 냉각 방법에 따른 Liquation Crack의 최대 길이