

# FCA 용착금속의 저온균열 감수성 Cold Cracking Susceptibility of FCA Weld Metal

\*김재학, \*\*김희진, \*\*유희수, \*고진현

\*한국기술교육대학교

\*\*한국생산기술연구원

## 1. 서 론

용접부 저온균열은 균열이 발생하는 위치에 따라 열영향부균열과 용착금속부균열로 분류된다. 최근 고강도강의 용접성이 향상됨에 따라 용접시공 업체 입장에서는 용착금속부균열이 보다 심각한 문제로 인식되고 있다. 전통적으로 용접부 저온균열은 미세조직, 확산성수소량, 잔류응력에 의해 평가되는데 열영향부균열에 대한 감수성을 평가함에 있어 미세조직의 영향은 모재의 탄소당량으로 정량화되고 있다. 그런데 용착금속부의 저온균열 감수성은 용착금속의 인장강도, 확산성수소량, 용착금속의 두께로 평가되고 있다. 즉 용착금속부 저온균열 감수성을 평가함에 있어 미세조직의 영향이 배제되어 있으며, 이의 영향이 인장강도에 일부 포함되어 평가되고 있는 것이다. 따라서 미세조직에 관한 용착금속부 저온균열 감수성에 미치는 영향이 명확히 규명되어 있지 않은 실정이다. 따라서 본 연구에서는 용착금속의 저온균열 감수성에 미치는 미세조직의 영향을 보다 확실히 규명하고자한다. 이를 위하여 본 연구에서는 미세조직은 다르지만 확산성수소량이 동일한 두 가지의 FCA용접재료를 선정하여 G-BOP(Gapped Bead-On-Plate)실험을 실시함으로써 용착금속 저온균열 감수성에 미치는 미세조직의 영향 여부를 확인하고자 하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 용접재료

본 연구에서 사용한 용접재료는 인장강도가 다른 2종(E71T-1, E81T-1)의 FCA용접재료를 선

정하였다. 선정된 용접재료는 의도적으로 확산성수소량이 동일한 수준이 되도록 제작하였는데, 제작된 각각의 FCA용접재료를 가지고 G-BOP 시험을 실시하고, 여기서 얻어진 용접비드에서 경도 및 화학조성을 측정하였다. (이후 인장강도가 높은 용접재료를 A라 칭하고 강도가 낮은 용접재료를 B라고 칭함)

### 2.2 G-BOP 시험

두 용접재료의 저온균열 저항성을 측정하기위해 G-BOP실험을 실시하였다. 모재로부터의 회석을 방지하고자 2층의 버터링 용접을 실시하고 본 용접을 실시하였다. 각 용접재료마다 3가지 예열 온도로 설정하고 각각에 대해 균열발생률을 측정하였다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 용착금속의 화학조성 및 경도

Table 1의 성분분석 결과에서 보듯이 B용접재료가 A용접재료에 비해 Mn, Ni, Mo성분이 높았다. 특히 Ni 함량에 있어서는 커다란 차이를 보여 주었다. 이러한 차이로 인하여 B용접재료의 용착금속의 경도가 높음을 확인할 수 있었다. (Table 2).

Table 1 Chemical composition of FCA weld metal

KIND	Chemical composition (%)			
	C	Mn	Ni	Mo
A	0.045	1.17	0.026	0.006
B	0.049	1.37	1.52	0.021

Table 2 Hardness of weld metal

	A	B
HR <sub>B</sub>	97.5	98.3

3.2 확산성수소량

두 용접재료의 확산성수소량을 검증하기 위해 GC법으로 확산성수소량을 측정하였다. 두 용접재료의 확산성수소량측정 결과를 Table 3에서 보여주는데, 다소는 차이는 있지만 실험편차를 감안할 때 동일한 수준의 확산성수소량이라고 판단된다.

Table 3 Result of diffusible hydrogen content measurement (GC)

	HD(ml/100g)
A	4.93
B	4.45

3.3 미세조직의 정량화

G-BOP시편에서 채취한 시편에서 미세조직을 관찰하고 그 결과를 Primary Ferrite(PF), Ferrite with Second Phase(FS), Acicula Ferrite(AF)로 구분하여 정량화 하였다. Table 4에서 보듯이 B용접재료는 A용접재료에 비해 Primary Ferrite(PF)와 Ferrite with Second Phase(FS)조직이 적은 반면 Acicula Ferrite (AF)조직이 많았다.

Table 4 Result of microstructural analysis.

	A (%)	B (%)
PF	22.4	9.0
FS	17.6	9.7
AF	60.0	90.3

3.4 G-BOP 시험 결과

Fig. 1은 G-BOP 시험결과를 보여주는 그림인데, 이 그림에서 보듯이 경도가 낮음에도 불구하고 A용접재료가 B용접재료에 비해 균열발생률이

확연히 높았다. 확산성수소량이 동일한 수준임을 감안하면 경도가 높은 B용접재료가 저온균열에 취약할 것으로 예상되었지만 G-BOP시험결과는 반대로 나타나고 있는 것이다. 이러한 차이는 저온균열 감수성에 영향을 주는 세 가지 인자 중에서 확산성수소량과 잔류응력이 동일한 상태에서 나타나고 있는 것이다. 따라서 Fig. 1의 결과를 온전히 해석하기 위해서는 미세조직 측면에서의 접근이 필요하다고 판단되었다.

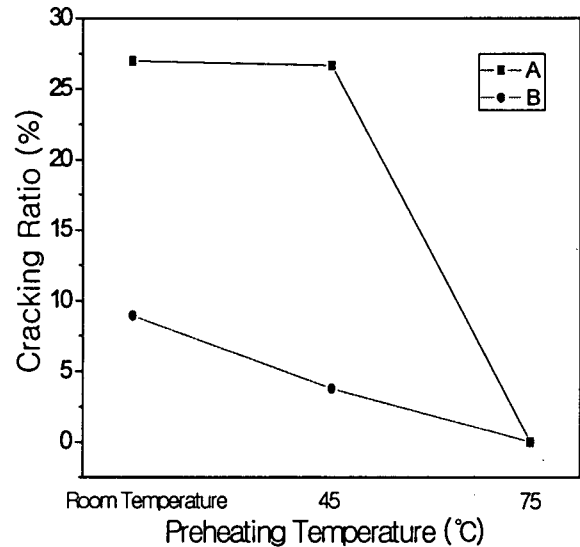


Fig. 1 Result of G-BOP

3.4 균열전파 경로

동일한 확산성수소량이 측정된 두 용접재료의 저온균열 저항성의 차이를 검증하기 위해 균열전파경로와 미세조직의 상관관계를 관찰하였다. 이를 위하여 예열온도를 상온으로 하여 G-BOP시험을 실시하고 종방향으로 시편을 절단하여 균열전파 경로를 확인하였다. Fig. 2는 A용접재료에서 발생된 저온균열의 전파 양상을 거시적으로(a), 미시적으로(b) 보여 주는 것이다. 미시적으로 보여주는 Fig. 2(b)는 균열 선단에서 찍은 사진인데, 이 사진에서 보듯이, 균열은 입계페라이트를 따라 전파하는 경향을 보여 주고 있다. 그러나 B용접재료의 용착금속에서는 이러한 상관성을 확인 할 수 없었는데, 이는 입계페라이트 성분이 극히 적었기 때문으로 판단된다. 결국 용착금속의 미세조직을 구성하고 있는 성분 중에서 입계페라이트가 저온균열에 가장 취약한 성분임을 확인할 수 있었고, A용접재료는 경도가 낮음

에도 불구하고 입계페라이트 성분이 높았기 때문에 저온균열에 보다 취약해 진 것으로 판단하였다. 결과적으로 확산성수소량이 동일할지라도 균열전파를 억제해 줄 수 있는 미세조직으로 용접재료의 합금설계를 한다면 용접재료의 저온균열 저항성을 향상시킬 수 있을 것이다. 본 연구에 사용한 B용접재료는 A용접재료에 비해 더 많은 합금원소를 첨가하여 Acicula Ferrite성분이 증가하였고, 이로 인하여 경도가 증가하였음에도 불구하고 균열전파가 어렵게 되어 A용접재료에 비해 저온균열저항성이 높아진 것이다.

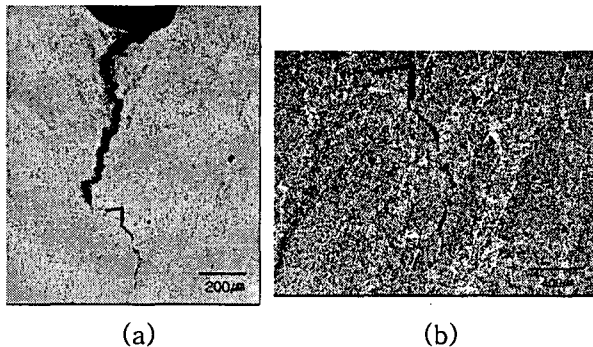


Fig. 2 Crack propagation in A weld metal.

#### 4. 결론

경도는 다르지만 확산성수소량이 동일한 두 가지 FCA용접재료를 선정하여 G-BOP시험을 실시하고 용착금속의 미세조직을 관찰함으로써 저온균열 감수성에 미치는 미세조직의 영향을 다음과 같이 평가하였다.

- 1) 용착금속에서 발생하는 저온균열은 입계페라이트를 따라 전파하는 경향을 보여 준다. 따라서 입계페라이트 성분이 높으면 저온균열에 대한 저항성은 낮아지게 된다.
- 2) 용접재료의 저온균열 감수성을 평가함에 있어 경도(또는 인장강도) 및 확산성수소량 뿐만 아니라 미세조직에 평가도 동시에 수행 되어야 한다.

#### 후기

본 연구는 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행되었고 이에 감사드립니다.