

SM570(Q&T)강 용접부의 저온균열 감수성 평가

Evaluation for cold cracking susceptibility of SM570(Q&T) steel weld metal

*김건형, **고진현, ***김희진
 *한국기술교육대학교,풍림산업(주)
 **한국기술교육대학교
 ***한국생산기술연구원

1. 서 론

SM570(Q&T)강재는 다른 SM강재와는 달리 담금질 및 뜨임의 열처리에 의해 강재의 강도 및 인성 등을 향상시킨 강재이다. 이러한 고강도 강재는 일반적인 비조질 강재의 SM 강재와는 달리 용접열에 더욱 민감한 성질을 가지고 있어 열영향부나 용착금속부에서 저온균열이 발생할 확률이 높다.

본 실험에서는 먼저 이론적 배경에서 고강도 강재인 SM570(Q&T)강을 대상으로 열영향부에서의 저온균열을 방지할 용접예열 온도를 용접관련 규격에 의거 산출해 보았으며 또한 용착금속부의 저온균열 방지를 위한 예열온도 산출식도 정리해 보았다. 실험은 먼저 예열 및 층간온도를 50℃로 유지하면서 CO₂ 보호가스 하에서 50mm 개선 구속 용접시 용착금속 저온균열 감수성을 조사하였고, 예열 및 층간온도를 50℃, 75℃, 100℃로 하면서 혼합가스(Ar+20%CO₂+(0%~0.45%)H₂)로 두께 26mm SM570(Q&T)강을 구속 용접시 혼합가스의 수소량에 변화를 주어 FCAW에서 확산성수소량 증가에 따른 저온균열 경향을 조사하였다.

2. 이론적 배경

2.1 AWS D1.1 방법

$$SI = 12P_{cm} + \log_{10}(H_d)$$

(H_d : Weld metal hydrogen content(ml/100g))

$$(P_{cm} = C + Si/30 + Mn/20 + Cu/20 + Ni/60 + Cr/20 + Mo/15 + V/10 + 5B)$$

Susceptibility Index

A:3.0 ; B:3.1~3.5 ; C:3.6~4.0 ; D:4.1~4.5
 E:4.6~5.0 ; F:5.1~5.5 ; G:5.6~7.0

Restraint level	Thickness (mm)	Minimum preheat and interpass temperature(℃)						
		Susceptibility index grouping						
		A	B	C	D	E	F	G
Low	<10	<20	<20	<20	<20	60	140	150
	10~20	<20	<20	20	60	100	140	150
	20~38	<20	<20	20	80	110	140	150
	38~75	20	20	40	95	120	140	150
	>75	20	20	40	95	120	140	150
Medium	<10	<20	<20	<20	<20	70	140	160
	10~20	<20	<20	20	80	115	145	160
	20~38	20	20	75	110	140	150	160
	38~75	20	80	110	130	150	150	160
	>75	95	120	140	150	160	160	160
High	<10	<20	<20	20	40	110	150	160
	10~20	<20	20	65	105	140	160	160
	20~38	20	85	115	140	150	160	160
	38~75	115	130	150	150	160	160	160
	>75	115	130	150	150	160	160	160

2.2 ASME 방법

(가) P-번호 1의 경우는 규정 최대 탄소함유량이 0.30 %를 초과하고, 또한 이음에서의 두께가 25 mm(1 in)를 초과하는 재료에 대해서는 79℃(175°F).

(나) 그 밖의 모든 재료에 대해서는 10℃(50°F)로 규정하고 있다.

2.3 BS 5135 방법

$$CE(IIW) = C + Mn/6 + (Cu + Ni)/15 + (Cr + Mo + V)/5$$

2.4 CEN 방법

$$CEN = C + f(c)(Si/24 + Mn/6 + Cu/15 + Ni/20 + (Cr + Mo + Nb + V)/5 + 5B)$$

2.5 CET 방법.

$$To(°C) = 700CET + 160 \tanh(d/35) + 62Hd0.35 - (32 - 53CET)Q - 330$$

To : Necessary preheat temperature(°C)

CET: $C + Mn/10 + Cu/20 + Ni/40 + Cr/20 + Mo/10$

Hd: Weld metal hydrogen content (ml/100g)

Q : Heat input(kJ/mm)

d : Thickness(mm)

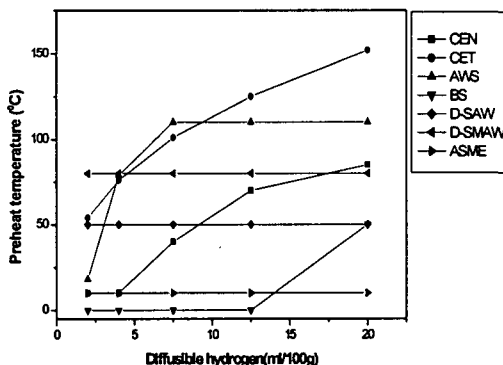
2.6 도로교 표준시방서(2005년)

Material	Welding method	Preheat temperature(°C)			
		Thickness(mm)			
		<25	25~40	40~50	50~100
SM 520, 570	SMAW with low hydrogen electrodes	-	80	80	100
	SAW, GMAW, FCAW	-	50	50	80

2.7 예열온도 계산에 필요한 인자들을 다음과 같이 설정하였다.

- ① 강재두께 : 50mm
- ② 확산성수소량 : 20, 12.5, 7.5, 4.2 ml/100g
- ③ 입열량(Q) : 2 kJ/mm
- ④ 용접형상: 맞대기 용접(Medium Res-traint)

2.8 예측된 예열온도 비교 곡선



2.9 용착금속부 예열온도 산출식

$$Tp(°C) = 120 + 120 \log(HJIS / 3.5) + 5(hw - 20) + 8(\sigma_B - 83)$$

HJIS(ml/100gr) : diffusible hydrogen content measured by glycerin method

hw(mm) : height of weld metal

σ_B (kg/mm²) : tensile strength of weld metal in all-weld-metal test

3. 확산성수소량 증가에 따른 저온균열 경향

3.1 개요

본 실험은 SM570(Q&T)강재에 사용되는 고장력(60kg급) FCA 용접재료의 확산성수소량 증가에 따른 용착금속부의 저온균열 감수성을 평가하면서 저온균열과 미세조직의 상관관계를 규명하고, SM570(Q&T)강의 최저 예열온도를 규명하고자 실시하였으며 확산성수소량 단계별 증가를 위하여 Ar+20%CO₂ 혼합가스에 H₂를 첨가하여 구속 채움 용접을 실시하였다.

3.2 모재

(1)모재

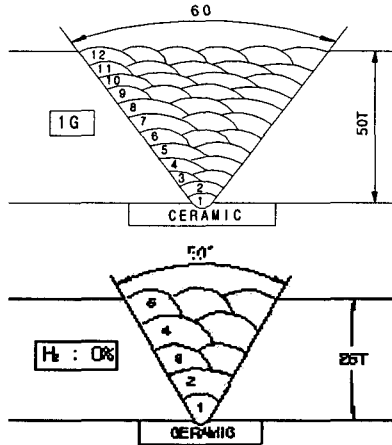
Mechanical properties			
Strength(MPa)		Absorbed energy(-5°C) J	Elongation(%)
Tensile strength	Yield strength		
629	526	273	29

Chemical composition								
C	Si	Mn	P	S	V	Mo	Pcm	Ceq
0.13	0.3	1.39	0.138	0.043	0.035	0.12	0.221	0.41
$Ceq = C + Mn/6 + Si/24 + Cr/5 + V/14 + Ni/40 + Mo/4$ $Pcm = C + Si/30 + (Mn + Cu + Cr)/20 + Ni/60 + Mo/15 + V/10 + 5B$								

3.3 용접실험

본 실험의 시험편 용접은 티타니아 타입의 60kg급 FCAW 와이어(Supercored 81)와

용접구조용 연강을 가로 150mm x 세로 300mm로 아래와 같이 개선 가공하여 채움 용접을 하였다.



3.4 보호가스 성분에 따른 확산성 수소량

용착금속의 확산성수소량은 보호가스의 성분에 따라 달라지므로 본 실험에 사용된 4 종류의 보호가스에 대한 각각의 확산성 수소량을 수은법 및 G.C법에 의하여 Table 1 와 같이 나타남을 확산성수소량 측정실험을 통하여 확인하였다.

Table 1 Diffusible hydrogen content by shielding gas

Shielding gas	Diffusible hydrogen content (ml/100g)	Remark
Ar+ 20%CO ₂	6.32	HG
Ar+ 20%CO ₂ +0.1%H ₂	7.47	HG
Ar+ 20%CO ₂ +0.2%H ₂	9.86	G.C
Ar+ 20%CO ₂ +0.45%H ₂	13.24	G.C

3.5 실험결과

Diffusible hydrogen content (ml/100g)	Preheat temperature			Remark
	50℃	75℃	100℃	
5.65	NC	-	-	CO ₂
6.32	C	NC	NC	H ₂ :0%
7.47	C	-	-	H ₂ :0.1%
9.86	C	-	-	H ₂ :0.2%
13.24	C	-	-	H ₂ :0.45%

4. 결론

용접구조용 SM570(Q&T)강재 용접에 사용되는 60kg급 FCA 용접재료의 저온균열 감수성을 조사 하기 위하여 다층 구속 용접을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 실험에 사용된 고장력 FCA 용접재료의 확산성수소량은 보호가스 100%CO₂하에서 5.65ml/100g이었다. 50℃ 예열조건에서 균열이 발생하지 않았다. 즉 [H]<5ml/100g에서 무예열 용접가능성을 보여주었다.

2. 고장력 FCA 용접재료의 확산성수소량은 보호가스 Ar+20%CO₂하에서 6.32ml/100g이었다. 보호가스에 수소가스를 첨가하면 확산성 수소량은 수소가스 첨가량에 비례하여 거의 직선적으로 증가하였다.

3.수소를 함유하지 않은 순수 혼합가스 (Ar+20%CO₂)를 사용한 경우 50℃ 예열에서는 저온균열이 발생하였으나 75℃, 100℃ 예열에서는 저온균열이 발생하지 않았다. 이러한 결과로부터 본 용접재료의 최저 예열온도는 75℃임을 확인하였다. 그리고 이러한 예열온도는 기 보고된 실험식으로 예측한 결과와 거의 동일하였다.

4. 용착금속부에서 발생한 저온균열은 주로 경도가 낮은 템퍼드 영역에서 발생하였으며, 입계를 따라 발생하는 경향을 보여주었다. 이러한 현상은 용접 열사이클에 의해 템퍼링된 영역의 입계에서 탄화물 등이 석출하여 나타난 결과로 판단된다.