한국부식학회지
J. Corros. Sci. Soc. of Korea
Vol. 29 No. 3. June, 2000
〈연구논문〉

입열량에 따른 전기저항 용접 강관의 홈부식 감수성에 대한 연구

서 보 민·이 종 권
순천향대학교 신소재공학과

Effect on Grooving Corrosion Susceptibility of Electric Resistance Welded Steel Pipe

Bo Min Seo and Jong Kwon Lee

Department of Materials Engineering, College of Engineering, Soonchunhyang University, Asan 336-745, Korea

The effect welding heat input on the grooving corrosion susceptibility on grooving corrosion was investigated using commercial electrical resistance welding(ERW) process in low carbon steel containing 0.009% sulfur. The ERW pipe has suffered preferential attack of welded zone of carbon steel used municipal water. The acceleration of corrosion was achieved by applying potential anodically in 3% NaCl solution and grooving corrosion index were measured. The optimally welded pipe showed the least susceptibility, while the pipe with lower heat input was the most susceptible. However, all the studied pipe could not meet the KS specification for corrosion resistant welded steel pipe for water service. The high susceptibility of ERW pipes was explained in terms of microstructure, macrostructure, electrochemical behavior and potential difference between weld and matrix. As a remedial measure, effect of post weld heat treatment was studied.

Keywords : electric resistance welding, grooving corrosion, corrosion of pipe, sulfur.

1. 서 론

전기저항 용접 강관(electric resistance welded steel pipe)은 띠강을 원통형으로 성형하고 그 이음부를 전기저항 용접에 의하여 접합하여 제조된다. 그 원리는 표피효과(skin effect)와 근접효과에 의한 것으로 저항열에 의하여 이음부의 표면만을 용해시키고 압접하여 제조하는 방식[1]이다. 일반 배관용, 보일러 열교환기용, 일반 구조용 등의 용도로 널리 사용되는 전기저항 용접 강관은 높은 생산성과 경제성을 갖고 있어 일본에서는 약 50%,[2] 국내에서는 약 70%를 차지할 만큼 많이 사용되고 있다.[3] 그러나 이와같이 제조된 강관에서는 관찰되는 국부부식이 빈번히 발생하는데 그 중에서도 용접부가 집중적으로 부식되는 홈부식(grooving corrosion)으로 인한 누수 사례가 많이 보고되고 있다.[4,5]

홈부식은 제관방법, 합금성분, 표면처리, 용접부의 형상, 황의 함량, 편석, 열처리 등에 의하여 영향을 받는 것으로 알려져 있으며 또한 수용액의 온도, 용존산소, pH와 같은 환경인자에 의해서도 영향을 받는 것으로 알려져 있다.[6] 이 중 강에 함유된 황의 함량은 홈부식에 큰 영향을 주는 것으로 밝혀졌으

며, 0.005 wt.% 이상일 때 홈부식 감수성이 증가하는[7] 것으로 알려져 있다. 그리고 전기저항 용접 강관을 후열처리하였을 경우에도 홈부식 감수성을 감소시킬 수 있는 것으로 보고되어 있다.[8-9]

홈부식 감수성은 홈부식지수(α)로 표현할 수 있는데 홈부식지수는 국부부식에 대한 균일부식의 정도 즉, 용접부에 대한 모재부의 부식 정도를 나타낸 것으로 아래 식을 사용하여 홈부식 감수성을 정량적으로 나타내었다.

$$\alpha = \frac{h_1}{h_2} + 1 \quad [10]$$

h_1 : depth of groove
h_2 : depth of general corrosion

위의 식에서 알 수 있듯이, 홈이 발생하지 않으면 $h_1 = 0$이므로 $\alpha = 1$이 되어 홈부식은 일어나지 않는 것이며, α 값이 클수록 홈부식이 일어나는 경향이 크게 된다. 이에 대하여 KS D3623에서는 내식성 급수용강관의 경우 홈부식지수가 1.2 이하가 되어야 한다고 규정하고 있다.

위와 같은 여러 가지 인자들 외에 용접시의 입열량에 따라서도 홈부식의 감수성은 영향을 받을 것으로 생각되나, 이에 대한 연구가 부족하다. 따라서 본 연구에서는 용접 입열량이 홈부식 감수성에 미치는 영향을 조사하고자 하였으며 이를 통하여 강관의 현장에서 사용시 수명예측과 품질향상을 가져올 수 있을 것으로 기대한다.

2. 실험 방법

2.1 전기저항 용접 강관의 조직 관찰

본 연구에 사용된 강관은 KS D3507에 명시된 50A 규격(외경 60.5mm, 두께 3.65mm)에 의하여 Table 1에 나타낸 바와 같이 저입열 용접된 A, B, C, D 강관과 적정 조건으로 용접된 E, F, G, 고입열 용접된 H, I 강관으로 입열량의 차이를 두어 제작하였다.

Table 1. Welding conditions of ERW steel pipe

sample No.	welding condition			
	voltage (kV)	current (A)	line speed (m/min)	heat input (kJ/sec)
A	10.3	22.4	40	346.1
B	10.6	23.0	40	365.7
C	10.9	23.7	40	387.5
D	11.2	24.4	40	409.9
E	11.5	25.0	40	431.3
F	11.8	25.7	40	454.9
G	12.1	26.3	40	477.3
H	12.4	27.0	40	502.2
I	12.7	26.7	40	506.7

2.2 조직 관찰 및 성분 분석

용접한 강관의 미세조직과 마크로조직을 금속현미경으로 관찰하여 강관의 용접 상태를 평가하였다. 용접부, 열영향부 및 모재부의 미세조직은 2% nital으로, 마크로조직은 포화 picral으로 metal flow를 관찰하였다. 또한, 시험에 사용된 강관의 화학성분을 분석하여 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Chemical compositions of ERW steel pipe

(wt.%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cu	Ca
0.019	0.012	0.230	0.014	0.009	0.011	0.017	< 0.001

2.3 정전위 촉진 부식시험

시편의 표면을 #600~1000 사포까지 순차적으로 연마한 용접부와 모재부가 포함되도록 강관으로부터 시편을 채취한 후 구리선을 땜납으로 연결하였다. 이때 접합부는 실험용액과 접촉하지 않도록 수지로 코팅을 하였다. 시험은 3 wt.% NaCl 용액에서 -500 mV vs. SCE(saturated calomel electrode)의 전위로 유지하였다. 상대전극은 흑연을 사용하여 시험 동안 공기를 지속적으로 주입하면서 48시간 동안 부식시험한 후 단면을 관찰하여 홈부식지수를 구하였다.

2.4 후열처리(post-weld heat treatment)

강관의 열처리 후 흠부식의 영향을 확인하기 위하여 C, F, I 시편에 대하여 후열처리를 하였다. 후열처리는 800℃, 900℃에서 10분간 열처리한 뒤 공냉하였고, 그 후 2.3의 촉진 부식시험과 같은 방법으로 실험하여 흠부식지수를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조직 관찰

Fig. 1, 2는 용접부와 모재부의 미세조직을 나타낸 것으로 A 시편을 제외한 시편들의 부위별 미세조직의 차이는 없었다. 강관에 함유된 탄소의 양이 0.019%의 저탄소강이므로 모재부는 대부분 약 10㎛의 균일한 결정립으로 된 페라이트(ferrite) 조직과 미소한 양의 펄라이트(pearlite) 조직을 가졌다. 그리고 용접부는 미세한 페라이트와 Widmanstatten 페라이트가 혼합된 조직을 갖는 것으로 관찰되었다.

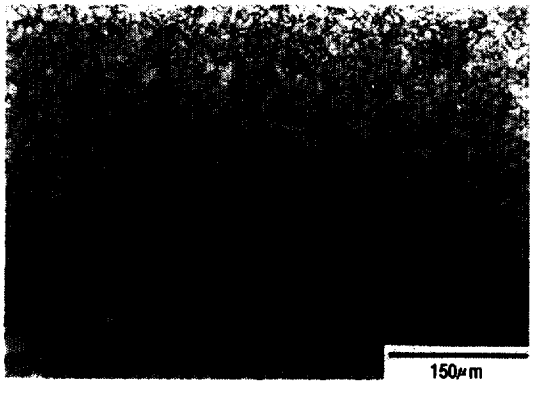

Fig. 1. Typical microstructure of weld metal in ERW pipe

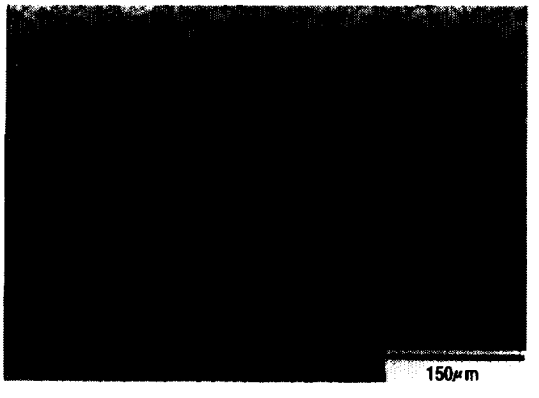

Fig. 2. Typical microstructure of base metal in ERW pipe

입열량에 따른 강관들을 대표하여 C, F, I 시편의 마크로조직을 Fig. 3~5에 나타내었다. 강관의 metal flow는 정상적으로 형성되었고, 강관의 접합성을 의미하는 접합부의 폭은 측정하여 Table 3에 나타내었다. 입열 부족인 A~D 시편 중 A, B 시편

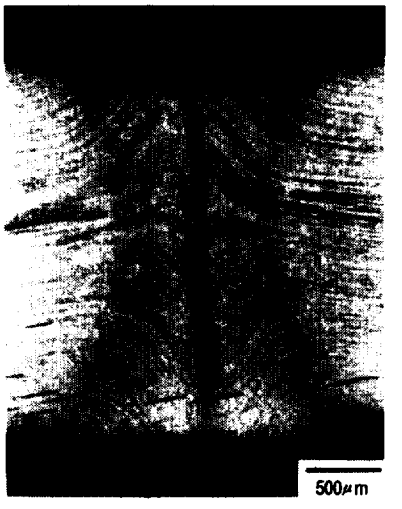

Fig. 3. Macrostructure of ERW pipe welded with 387.5 [kJ/m] heat input (specimen C)

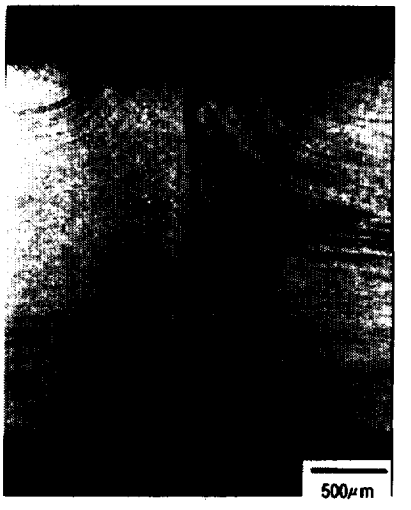

Fig. 4. Macrostructure of ERW pipe welded with 454.9 [kJ/m] heat input (specimen F)

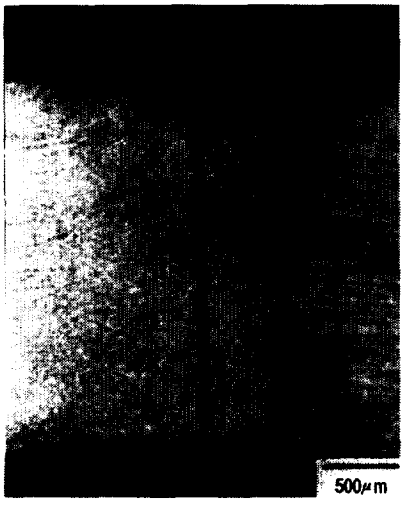

Fig. 5. Macrostructure of ERW pipe welded with 506.7 [kj/m] heat input (specimen I)

은 접합부의 폭이 없거나 거의 관찰되지 않았고 C, D 시편은 2μm의 좁은 폭을 갖는 것으로 나타났으며, 적정입열 이상인 E~I 시편에서는 접합부의 폭이 80~92μm의 범위로 크게 증가하였다.

Table 3. Bond width of ERW pipe

(단위 :μm)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
bond width	-	-	2	2	92	80	92	80	80

3.2 정전위 촉진 부식시험

정전위 촉진 부식시험의 결과를 Table 4에 나타내었다. 시험에 사용된 강관 중 최저입열인 A 시편은 입열부족으로 접합이 완전하지 않은 상태였으므로 촉진 부식시험을 시작한지 26시간이 지난 후 용접부가 절단되어 흠부식지수를 측정할 수 없었다. B~I 시편까지 입열량이 변화함에 따라 저입열인 B, C 시편은 흠부식지수가 1.63과 1.79, 적정 입열인 E, F, G 시편은 1.52~1.54, 고입열인 H, I 시편은 1.68과 1.57로 적정 입열일 때 흠부식지수가 가장 낮은 것으로 나타났다.

본 연구에 사용된 강관은 앞서 언급되었듯이 흠부식이 발생할 수 있는 황함량의 기준치인 0.005 wt.%

Table 4. Grooving corrosion index(α) of ERW pipe

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
α	-	1.63	1.79	1.55	1.52	1.54	1.54	1.68	1.57

Table 5. Open circuit potentials of ERW pipe between weld and base metal

(단위 : mV)

	Base	Weld		
		C	F	I
OCP	-573	-582	-644	-652

를 초과하는 0.009 wt.%를 함유하고 있으므로 황화물에 의한 흠부식의 발생이 촉진되어 KS에서 규정하고 있는 흠부식지수 1.2[10]를 넘는 결과를 얻은 것으로 판단된다. 최저입열로 용접된 A 시편은 저입열에 의하여 냉접되어 용접부가 절단된 것으로 보이며, 저입열 강관인 B, C 시편의 흠부식 지수가 1.63과 1.79로 높은 것으로 나타났는데 이것은 Table 5에서 부위별 전위값에서 볼 수 있듯이 모재부와 용접부 사이의 전위차에 의하여 발생한 갈바닉 부식이 흠부식을 일으킨 것으로 생각된다.(Fig. 6) C, F, I 시편에서 용접부와 모재부 사이의 9~79 mV의 전위차는 큰 차이는 아니지만 음극인 모재부에 비하여 양극으로 작용하는 용접부 즉, 접합부의 면적이 작기 때문에 소양극, 대음극이 되어 갈바닉 부식이 발생한 것으로 생각된다.

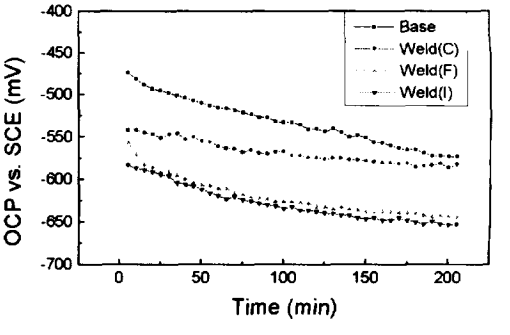

Fig. 6. Potentiodynamic polarization curves for ERW pipe in deaerated 3 wt.% NaCl solution at room temperature.

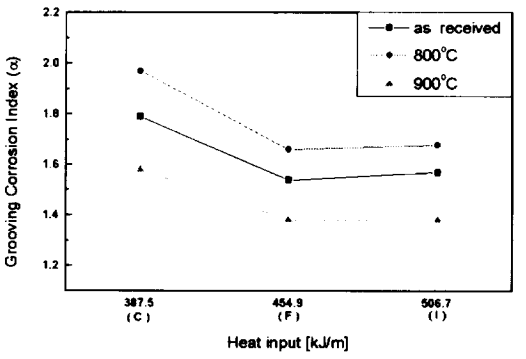

Fig. 7. Grooving corrosion index of ERW pipe after post weld heat treatment

흠부식에 대한 후열처리의 영향을 확인하기 위하여 C, F, I 시편을 800, 900℃에서 후열처리한 후 촉진 부식시험에 의한 흠부식 측정 결과, Fig. 7에서 볼 수 있듯이 800℃에서 후열처리 후의 흠부식 감수성은 처리하지 않았을 때보다 증가하였으며, 900℃일 때는 감소하였다. 이러한 열처리 온도에 따른 흠부식의 거동은 Heitman[8] 등의 연구와도 같은 결과로써, 그 원인은 용접부와 모재부의 조직이 열처리에 의하여 변화되었기 때문으로 생각된다. 즉, 페라이트와 오스테나이트 상으로 존재하는 900℃에서 열처리시 용접부의 Widmanstatten 페라이트가 페라이트화 되고, 흠부식 감수성에 크게 영향을 끼치는 황화물과 같은 개재물, 편석이 확산에 의하여 기지로 고용되어 균질화되기 때문으로 생각된다. 그러므로, 900℃에서의 후열처리를 통하여 흠부식의 발생을 억제할 수 있을 것으로 판단되며, 후열처리의 온도가 흠부식 감수성에 끼치는 영향에 대해서는 추후 연구될 예정이다.

4. 결 론

입열량에 따른 전기저항 용접 강관의 흠부식 감수성에 대한 연구 결과는 다음과 같다.

(1) 입열량에 따라 제조된 강관의 촉진 부식시험 결과, 0.009wt.% 황함량으로부터 발생한 용접부와 모재부의 전위차에 의하여 모든 강관에서 흠부식이 발생하였으며, 흠부식지수는 1.52- 1.79 범위에 있었고 적정입열로 용접된 강관에서 흠부식지수가 가장 낮았다.

(2) 용접 후 열처리는 흠부식 감수성에 큰 영향을 주었으며 그 효과는 온도에 따라 크게 변화하였다.

References

1. Joon Lee, *Bulletin of the Korean Institute of Metals and Materials*, **12**, No. 4, p. 463-471 (1999).
2. C. Kato, Y. Otoguro, S. Kado, Y. Hisamatsu, Grooving Corrosion in Electric Resistance Welded Steel Pipe in Sea Water, *Corrosion Science*, **18**, p. 61-74 (1978).
3. Handbook of Welding and Joining, Korean Institute of Welding, p. 671 (1998).
4. K. Masamura, I. Matsushima, Corrosion/81, Apr. (1981).
5. K. Masamura, I. Matsushima, *Corrosion Eng.*, **31**, p. 332-335 (1982).
6. T. Kurisu, T. Kyuno, S. Harada, T. Doi, *Kawasakitetsu-kiho*, **11**, No. 3, p. 321-336 (1979).
7. Young-bok Jeong, Byung-woo Lee and Heung-sik Kim, *this Journal*, **27**, 2 (1998).
8. W. E. Heitman, P. D. Southwick, F. Pausic, Conf. 1983 HSLA Steel, ASM, p. 957-966 (1984).
9. Jong-kwon Lee, Do-yon Jang and Dong-kee Baek, *this Journal*, **22**, 142 (1993).
10. KS D3623-94, "Corrosion Resistant Welded Steel Pipe for water Service" (1991).