

## ERW 강관 용접부의 기계적 성질에 대한 열처리 효과

### The Effects of Heat Treatment on Mechanical Properties of ERW Steel Pipes Welds

함 윤진\*, 김 상훈\*, 임 정호\*\*, 짝 진섭\*\*, 이 창희\*

\* 한양대학교 신소재공학부

\*\* 현대 하이스코 울산공장 기술개발 Part / 생산팀

#### 1. 서 론

전세계적으로 Line Pipe의 수요가 급증하는 추세이다. 이러한 점에서 높은 생산성과 낮은 제조비용의 장점을 갖고 있는 ERW process의 중요도와 관심도가 커지고 있다.<sup>1)</sup> ERW process는 용접을 하는 동안 용융된 금속이 전자반발력에 의해 밖으로 배출되어 고상접합을 하게 된다.<sup>2)</sup> 이렇게 형성된 용접부는 모재와는 전혀 다른 미세구조와 기계적 성질을 갖게 되며, 일반적으로 모재에 비해 취약한 인성을 갖는다. 따라서 이러한 ERW 용접부의 특성을 개선시키기 위해 일반적으로 용접 후 열처리를 시행한다.

본 연구에서는 API 강관에 대한 ERW 용접부의 기계적 특성 저하의 원인을 분석하였으며, 열처리를 통한 용접부의 기계적 성질 개선 효과에 대해 연구하였다.

#### 2. 실험재료 및 실험방법

##### 2.1 실험재료

본 연구에 사용한 합금은 API X65 grade pipe (외경:24inch, 두께:9.2mm)로 조성은 Table 1에 주어진 바와 같다. 모재의 미세구조는 Fig 2(b)에서 보는 바와 같이 Polygonal ferrite와 pearlite가 혼재되어 있는 전형적인 압연 강재이고, 결정립 크기는 평균 4.9 $\mu$ m ( $\pm$ 1.9) 이다. 용접조건과 열처리 조건은 Table 2 및 Fig 1과 같다.

Table 1. Chemical compositions of X65 grade pipe (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Cr
0.0733	0.208	1.366	0.0149	0.0014	0.01
Ni	Ca	Cu	Ti	Nb	etc
0.01	0.0022	0.012	0.002	0.041	Mo, B

Table 2. Conditions of process of X65 grade pipe

Line SPEED (m/min.)	Welding condition				
	Current (A)		Voltage (V)		Heat input (kW)
	#1	#2	#1	#2	
13.5	14	15	10.5	9.5	173.7

Post Seam Annealing (1step heat treatment)		
Frequency (kHz)	MF Voltage (V)	Heat treatment Temp. (°C)
0.75	910	960

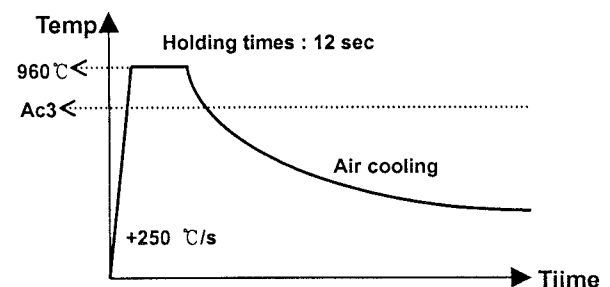


Fig 1. Thermal cycle of 1 step heat treatment

### 2.2 실험방법

용접부의 기계적 특성 평가를 위해 미세조직 관찰, 경도 시험, 충격 시험 등을 시행하였다. 조직 분석 시 Ferrite의 결정립 크기는 Image analyzer를 이용하여 측정하였다. 경도 시험은 Vickers hardness tester를 이용하여 용접부의 Bond line으로부터 모재 쪽으로 0.5mm간격으로 2.5mm까지 각각 6회 측정하였다. 충격 시험은 Charpy V-notch impact tester를 이용하여 시행하였고, 충격 시험편은 ASTM과 API specification에 따라 파이프의 두께와 곡률을 고려하여 1/2 sub-size 시험편으로 제작하였다.<sup>3, 4)</sup> 충격 시험 후 파단면은 SEM을 통해 관찰하였다.

## 3. 실험결과

### 3.1 Macro - / Microstructures of a welds

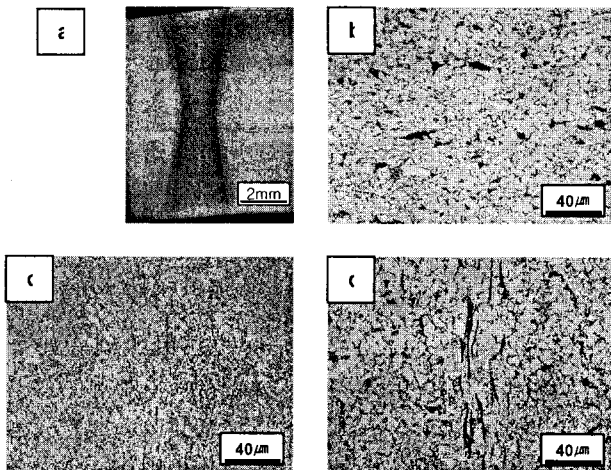


Fig 2. (a) Macrograph of as welded bond line. Microstructures of X65 grade pipe (b) Base metal., Bond line of (c) As welded, (d) Normalized, specimen

Fig 2(a)는 열처리 전 용접부의 Macrograph이다. 탈탄 영역인 Bond line 주변에 HAZ가 형성되었고 중간 두께 부분에서 HAZ의 폭은 약 2mm 정도이다.

Fig 2(c)는 열처리 전 용접부의 미세구조이다. Bond line에서는 다량의 Bainite와 약간의 Widmanstatten ferrite와 Elongated pearlite가 관찰되었다. HAZ에서는 Fine polygonal ferrite와 Bainite 및 Pearlite가 관찰되었다. Bond line에서

멀어 질수록 모재의 조직과 비슷해졌다.

Fig 2(d)는 열처리 후 용접부의 미세구조이다. Bond line에서는 polygonal ferrite와 As welded Bond line에 비해 너비 방향으로 좀 더 성장한 elongated pearlite가 존재했다. 이는 주변에 ferrite가 형성되면서 탄소의 이동에 의한 것으로 보인다. Ferrite의 결정립 크기는 평균 10μm 이하로 미세하였지만, 모재에 비해서 다소 증가하였다.

### 3.2 Vickers hardness distribution

열처리의 목적 중 하나는 열처리를 통해서 용접부의 조직을 변화시킴으로써 모재와의 경도편차를 최소화시키는데 있다. Fig 3은 Vickers hardness tester를 사용하여 경도 시험을 시행한 결과이다. As welded 용접부는 경질상인 Bainite 때문에 모재에 비해 경도치가 현저히 높게 나왔다. Normalizing 후, 용접부는 As welded 용접부에 비해서 모재와의 경도 편차가 개선되었다. 또한 OD (outer diameter), Middle (middle thickness of pipe), ID (inner diameter) 간의 경도 편차가 개선되었다. 조직이 Bainite에서 상대적으로 연질상인 Polygonal ferrite로 변태함에 따라 경도가 감소한 것으로 보인다. 열처리 후, 경도 편차가 감소했고 조직이 모재와 비슷해지기는 했으나 모재만큼 결정립이 미세화 되지 않았기 때문에 열처리 후 경도치는 모재의 경도 (197HV) 에 비해 낮은 값을 보인다.

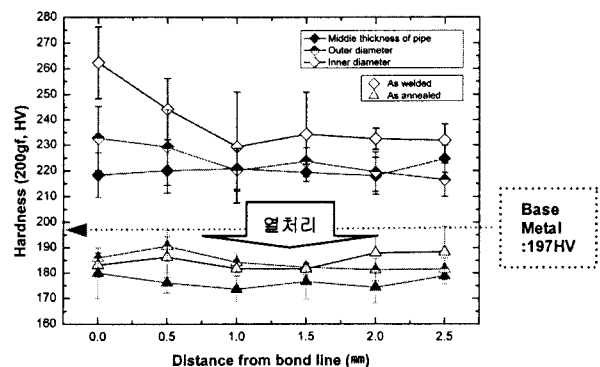


Fig 3. Vickers hardness distribution of X65 grade pipe

### 3.3 Charpy V-notch impact toughness

Charpy V-notch impact toughness 시험 결과,

Normalizing 후 Bond line (79.27J at -20℃) 은 As welded Bond line (8.68J at -20℃) 에 비해 인성이 현저히 개선된 것으로 나타났다. HAZ 부분도 Bond line 만큼은 아니지만 -20℃에서 인성이 약 45% 증가하였다. Bond line에서의 DBTT는 열처리 후 (-60 ~ -40℃)의 경우, 열처리 전 (-20 ~ 20℃) 에 비해 낮아졌다. 또한 DBTT 구간도 감소하였다. 이러한 Bond line의 인성 개선은 Bond line의 조직이 열처리 전 Bainite에서 열처리 후 Polygonal ferrite 형성에 의한 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. S M I Birch and R J Pargeter : The use of ERW/HFI welded linepipe for sour service applications phase I report : Review of current information on ERW/HFI pipe manufacture and performance, TWI report No: 12149/1 Rev 1/2000. January 2000
2. 이 준 : 고장력 ERW 강관 제조기술, 大韓金屬學會 會報 제 12 권 제 4 호 (1999년 8월)
3. ASTM E23-06, "Standard Test Methods for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials"
4. American Petroleum Institute : Specification for Line Pipe, March 2004

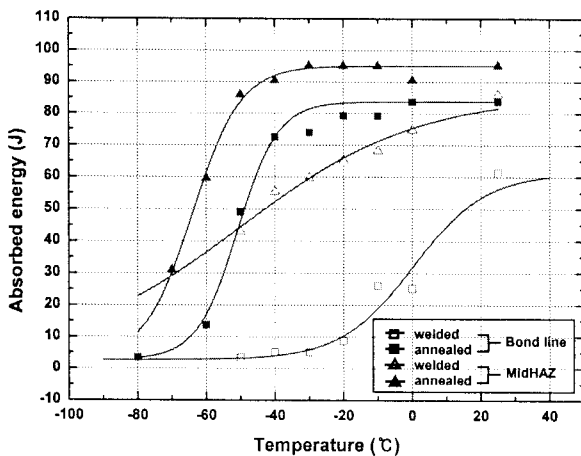


Fig 4. Absorbed energy with temperature of X65 grade pipe

4. 결 론

본 연구에서는 ERW 강관 용접부의 미세조직 및 기계적 성질에 대한 1step 열처리 효과를 살펴보고, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 용접부를 열처리 한 후, 조직은 Polygonal ferrite와 Pearlite로 모재와 비슷해 졌지만 결정립 크기는 모재만큼 미세화되지 못했다.
- 2) Normalizing 한 용접부의 조직은 상대적으로 경한 조직인 Bainite에서 Polygonal ferrite로 변태하였다.
- 3) 열처리에 따른 미세조직 변화로 인해 용접부에서의 경도 편차가 개선되었고 인성이 향상되었다.

후 기

본 연구는 산업 자원부 “중기거점 기술개발사업”의 지원 하에 수행되었습니다