

## QST압연법에 의한 고장력봉강 제조기술

신정호, 한철호, 이종수, \*장병록  
기아특수강 금속기술연구소 생산기술부

### The Production Technology of High-Strength Round Bar by QST Rolling

Jung-Ho Shin, Cheol-Ho Han, Jong-Soo Lee, \*Byoung-Lok Jang  
Div. of Production Engineering & Technology, R&D Center for Metallurgy  
KIA Steel Co., Ltd. Kunsan 573-400

#### Abstract

The Quenching and Self Tempering (QST) rolling is treated in terms of an advance process on Controlled Rolling and Cooling Technology (CRCT). In the analysis, the effect of this process is governed by both quenching and finishing conditions in the related with temperature. The objective of the QST model is to simulate the temperature gradient of the stock being rolled in the rolling mill. A comparison of computer simulated and manufactured micro structure as well as mechanical properties shows a good consistency. The micro structure of this high-strength round bar consists of tempered martensite and ferrite + pearlite phases.

Key Words : QST, CRCT, mechanical properties

#### 1. 서 론

최근 국내에서는 산업기반확충과 사회간접자본시설투자에 대한 요구와 실행이 증가하는 추세에 있다. 이에 따라 대형구조물, 공항, 항만, 도로, 고속전철, 지하철, 해저터널, 각종 공사가 여러 곳에서 시공되고 있다. 이러한 공사에는 엄청난 량의 철강재 수요가 수반되고 있으나 그 요구나 공급이 적절하지 못한 것이 현실이다. 이들 수요의 한부분인 고장력 봉강은 고속철도, 지하철, 해저터널 등의 터널보강 및 원형아치 등의 lattice girder소재로 각광받고 있다. 고장력 봉강과 lattice girder는 유럽에서 개발되어 영불해저터널, 독일 및 프랑스 고속전철 등 각종 터널공사에 시공되어 구조적 안정성과 시공의 경제성이 입증되고 있다<sup>1)</sup>.

이 용도의 고장력 봉강은 고강도, 고인성 및 우수한 용접성 등이 요구되고 있으며,

고강도와 고인성의 확보는 기존의 열처리와 미량원소첨가의 고비용 저생산성 공정에서 탈피하여 새로운 제조공정의 개발이 필요하게 되었는데 80년대 이후 각광받기 시작한 표면경화 및 자기템퍼링(QST) 압연방법<sup>3,3)</sup>을 이용하기에 이르렀다.

본 연구에서는 적정성분의 합금설계 및 QST 기술의 적용을 위해 컴퓨터를 이용한 모의실험과 조업변수를 제어하여 고장력봉강의 소재를 국산화개발 하고자 하였다.

## 2. QST 압연법

QST 압연법은 제어압연·제어냉각기술의 일종으로 압연공정간의 온도를 제어하고 적절한 위치에서 급속냉각을 이용해서 조직과 기계적 물성을 제어하는 방법이다. QST 압연으로 얻어진 소재는 일반압연재보다 고강도, 고인성, 우수한 용접성, 냉간가공성이 양호한 특징을 갖는다. QST원리를 간단히 설명하면 다음과 같다.

① 표면급냉 - 열간압연의 마지막 압연기를 지난 압연소재가 냉각구간을 통과할때, 냉각효과에 의해 급냉되면서 표면층에 마르텐사이트 조직이 형성되고, 내부는 오스테나이트 상태로 남아있게 된다. ② 마르텐사이트의 자기템퍼링 - 급냉으로 형성된 표면의 마르텐사이트는 내부의 잠열에 의해 소러 마르텐사이트 조직으로 된다. ③ 중심부 변태 - 냉각구간을 통과한 봉재가 냉각대 위에서 냉각되는 동안 중심부의 오스테나이트는 페라이트/펄라이트로 변태된다.

## 3. 실험 방법

소재는 EAF, LF 및 VD를 거쳐 연주 불륨으로 주조한 다음 연속가열로에서 적정 온도로 가열한 후  $\square 155$ 의 빌렛으로 제조하였다. 다음에 소형압연용 연속가열로에서 재가열하여  $\phi 34\text{mm}$ 의 봉강을 제조하였으며, 이 과정에서 QST 압연법을 적용하여 마무리 압연 후에 냉각구간을 이용하여 강제냉각시켰다. 고장력봉강의 화학성분은  $0.22\text{C}-0.17\text{Si}-0.90\text{Mn}-\text{V}$  ( $C_{\text{eq}} \leq 0.48$ )이었으며, 여기서 C는 용접성 확보를 위하여 비교적 낮은 수준으로 설계하고 Mn 및 V은 소입성 증대 및 결정립도 미세화 효과를 얻기 위하여 첨가하였다. 소재 인장시험은 압연한 상태로 가공하지 않고 시험(DIN 50125, 50145) 하였으며 그 때의 표점거리( $L_0$ )는  $5 \times d_0$  ( $d_0$ 는 소재직경)로 하였다.

압연재 냉각후 복원온도의 최적조건을 찾기 위해서 off-line CRCT simulation program과 ANSYS를 이용하여 여러조건에서 예측한 결과를 조업에 적용하였다.

## 4. 실험 결과

### 모의실험

Off-line CRCT simulation program과 ANSYS를 이용하여 QST공정중 온도분포와

표면경화 깊이를 예측할수 있었다. 냉각 구간에서 냉각조건인 수량과 수압의 제어에 따른 마르텐사이트변태정도를 정량화 하였다.

### 기계적성질

모의실험에서 얻은 QST조건을 조업에 적용하여 얻은 소재의 기계적 성질은 표 1과 같다. B → C → D → E의 순으로 수압 및 수량을 증가시켜 자기템퍼링 온도를 낮게한 조건이며 A 조건은 일반압연(Conventional rolling) 한 소재의 시험 결과이다.

Table 1 The mechanical properties of the tested steels.

구분	YS (N/mm <sup>2</sup> )	TS (N/mm <sup>2</sup> )	항복비(%) (YS/TS)	El. (%)	RoA (%)	충격흡수에너지 (IZOD-J)	비 고
Spec.	≥ 520	≥ 600	-	≥ 14	-	≥ 34	
A	370	531	69.7	29.1	52.6	84	일반압연
B	510	633	80.6	20.6	56.2	87	QST 적용
C	552	660	83.6	23.8	57.4	88	
D	585	686	85.3	-	-	100	
E	592	688	86.0	-	-	100	

QST압연에서 얻은 기계적 성질을 일반압연과 비교하면 B 조건의 항복강도를 제외하고는 모든 QST압연조건에서 규격을 만족하였다. QST압연은 일반압연보다 항복강도는 140~165%, 인장강도는 117~135% 수준으로 현격한 차이를 나타내고 있다.

또한 소재의 안정성평가에 큰 영향을 미치는 항복비(항복강도와 인장강도의 비)의 경우를 보면 일반압연재는 70% 수준인 반면 QST를 적용한 경우는 80~86% 수준으로 향상되었음을 알 수 있다.

충격흡수에너지의 경우 모든 조건에서 규격을 만족하였는데 자기템퍼링 온도가 낮을수록 충격흡수에너지는 높아지는 경향을 나타낸다. 이는 소의 온도가 낮을수록 결정립이 미세화 되는 현상과 관계 있는 것으로 생각된다.

### 마이크로조직

일부분을 제외하고는 모두 균일한 경화층을 형성하였으며 경화층 깊이는 3.0 ~ 3.7 mm, 경화층 분율은 32 ~ 39 %의 범위를 나타낸다. 여기서 경화층 분율을 계산하기 위한 기준거리는 표층부 최고경도와 내부경도의 평균값을 취하였다. (사진 1 참조)

### 경도분포

제품의 경도분포는 경화층, 경계층 및 내부로 구분할 수 있는데, 내부는 일반압연품과 동등한 수준의 경도분포를 나타내나 경화층과 경계층은 내부에 비해 30~50 % 정

도 정도가 상승하였다. 이러한 내·외부의 정도 차이는 소재의 인성을 향상시키고 항복비를 증가시키는 주요인으로 판단된다.

### 미세조직

일반압연 한 경우는 내·외부의 조직차이가 눈에 띄지 않으나 QST 적용 소재의 경우는 외부의 소러 마르텐사이트 조직과 내부의 페라이트 + 펄라이트 조직이 현격한 차이를 나타낸다. 또한 B와 E 조건의 중심부 조직을 비교해 보면 냉각효과가 커질수록 조직은 미세해 지는 것을 확인할 수 있다.

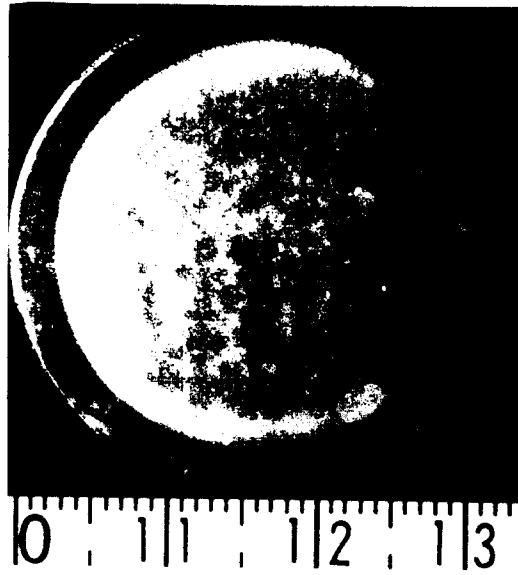


Photo 1. Macrostructure after QST rolling.

## 5. 결 론

고장력봉강의 세조에 QST압연법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) QST 압연재는 표면경화층은 소러 마르텐사이트, 경계층은 소러 마르텐사이트+페라이트+펄라이트, 내부는 페라이트+펄라이트 조직을 나타낸다. 또한 표면경화층의 깊이는 3.0~3.7 mm, 면적비율은 30~40 % 이다.
- 2) 제품의 기계적성질을 만족시키기 위한 최적 자기템퍼링 온도는 550℃~700℃ 범위이다.
- 3) 구조물의 안정성 확보에 중요한 인자로 작용하는 소재의 항복비(YS/TS)는 일반압연한 경우 70% 수준에서 QST를 적용한 경우 80~85% 이상으로 높아지며, 냉각구간에서의 표면냉각효과가 커질수록 표면경화층이 증대하고, 내부의 오스테나이트는 변태시의 가속냉각 효과로 인해 결정립이 미세화 됨으로써 항복비는 높아진다.
- 4) 모의실험과 조업적용 결과가 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- 1) Pantex Stahl AG : Pantex Stahl AG Brochure, (1995)
- 2) M. Kruse & P.J. Mauk : Controlled Rolling & Cooling Technology, (1994) 22
- 3) P. Simon : Metallurgical Plant & Technology, 2 (1990) 61