

# 直接焼入れ自己焼もどし型高強度非調質鋼

## On-line Quenched and Self-tempered High Strength Steel

### 1. はじめに

建設機械用部品に適用される鋼材などには、従来は機械構造用炭素鋼（たとえば S45C クラス）の調質材が適用されていた。その後、調質処理を省略する目的で V 添加鋼の非調質材の適用が拡大された。しかし、近年、V などの合金高騰を受け、低合金化（V レス）した高強度非調質鋼の要望が強まりつつある。

このような状況から、JFE 条鋼では、調質処理工程の省略および低合金化を目的に、仙台製造所棒鋼工場に設置されたオンライン水冷装置を活用し、鋼材の表層部のみを焼入れ-自己焼もどしする高強度非調質鋼（以下、TQF<sup>®</sup> 棒鋼）を開発した。

以下に、TQF<sup>®</sup> 棒鋼の特長について紹介する。

### 2. TQF<sup>®</sup> 棒鋼の特長

#### 2.1 製造方法概要

仙台製造所棒鋼工場の設備概要を図 1 に示す。加熱炉は LNG バーナーでウォーキングビーム式であり、圧延機は粗圧延機（8 機）、中間圧延機（8 機）、仕上げ圧延機（2Hi 式-4 機、3 方ロール式-4 機）を配し、それぞれの圧延機後に浸漬管冷却からなる水冷帯を設置している。TQF<sup>®</sup> 棒鋼は、主として仕上げ圧延機の後に設置している製品水冷装置（図 1 中⑩、2 ゾーン）を使用し、表層部を直接焼入れし水冷装置通過後に鋼材内部の保有熱で自己焼もどしさせた棒鋼製品である（図 2）。TQF<sup>®</sup> 棒鋼の主な特長は、以下の点にある。

- (1) 組織強化作用を用いるため合金元素量削減可能
- (2) 表層部は焼もどしマルテンサイト（あるいはベイナイ

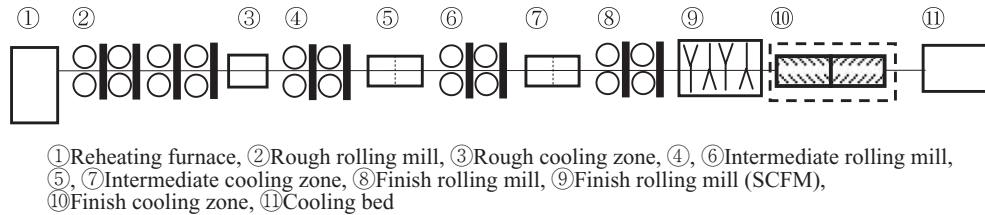


図 1 棒鋼工場の圧延レイアウト

Fig. 1 Layout of rolling mill and cooling zone in bar product line

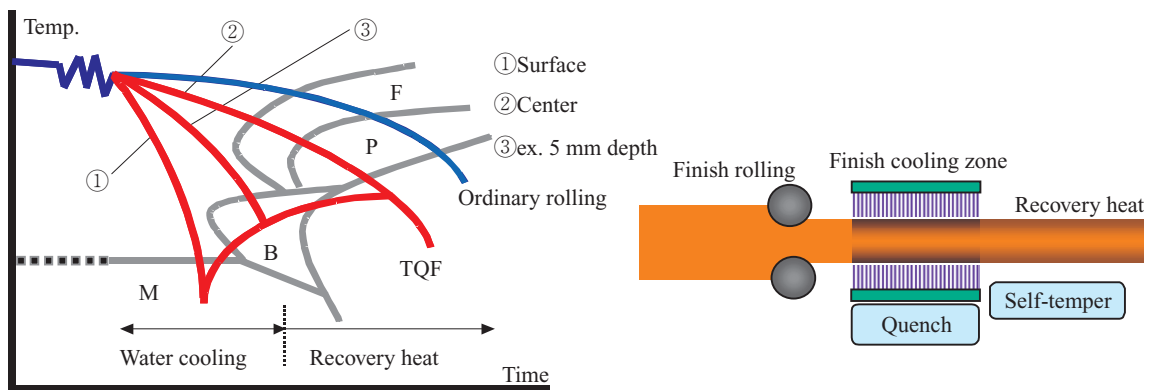


図 2 TQF 棒鋼製造の考え方

Fig. 2 Concept of material design for TQF bar

ト) 組織, 内部は微細なフェライト-パーライト組織となり棒鋼製品全体で強度と靱性が向上

(3) 硬度分布がU字曲線となり疲労強度, 曲げ強度が向上

(4) 表層部が焼もどしマルテンサイト (あるいはベイナイト) 組織のため高周波焼入れ性が向上

TQF<sup>®</sup> 棒鋼の品揃えとしては, 700~900 MPa 級を開発している。

このうち 700 MPa 級について, 最大サイズ  $\phi 115$  mm までをすでに量産中である。

## 2.2 TQF<sup>®</sup> 棒鋼の特性例

以下に TQF<sup>®</sup> 棒鋼の特性例を示す。

写真 1 にマクロ組織, 写真 2 にミクロ組織を示す。マクロ組織で表層部の黒く見える部位が焼入れ層であるが, 偏りのない均一な焼入れ層が得られている。ミクロ組織は, 表層部は焼もどしマルテンサイト組織 (写真 2 の表層 5 mm 位置まで), その内側 (D/8) はベイナイト主体の組織, さらにその内側 (D/4) は微細なフェライト-パーライト組織となっている。

横断面内の硬度分布 (図 3) は, 断面内の冷却特性と, それによるミクロ組織に応じた U 字曲線分布を示し, 表層

部は高硬度で耐摩耗性に優れ, 中心部は低硬度で延性, 靱性に優れる。この U 字曲線型の硬度分布に起因して丸棒全体で高疲労強度, 高曲げ強度を有するとともに, 強度-靱性バランスにも優れる。

また TQF<sup>®</sup> 棒鋼は表層部が焼もどしマルテンサイト組織となっているため, 高周波焼入れの加熱時において短時間で炭化物が固溶し, 均一なオーステナイト組織が得やすく, 硬度バラツキの小さい安定した焼入れ層が得られるという特長もある (図 4)。現在 TQF<sup>®</sup> 棒鋼はこれらの特長を生かし, 高周波焼入れを行う油圧シヨベルなどのピン類, シャ

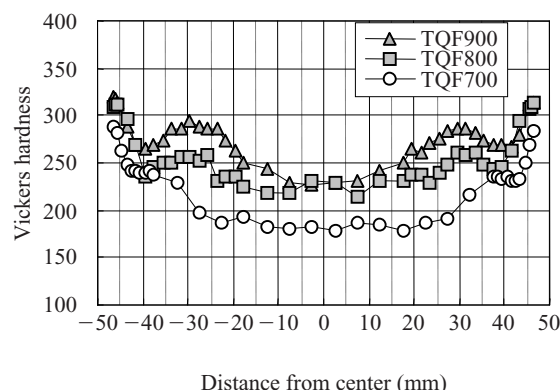


図 3 横断面内の硬度分布 (φ95)

Fig.3 Hardness curves of cross-section (φ95)

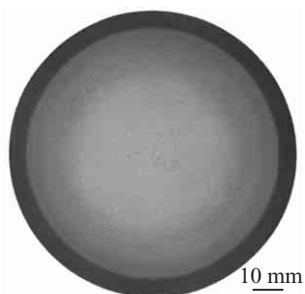


写真 1 マクロ組織 (φ95, TQF700)  
Photo 1 Macrostructure (φ95, TQF700)

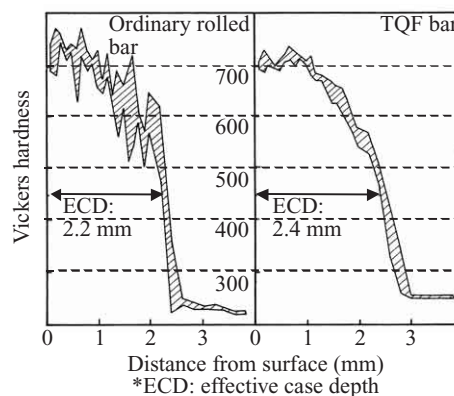


図 4 高周波焼入れ後の硬度分布

Fig.4 Hardness curves after induction hardening

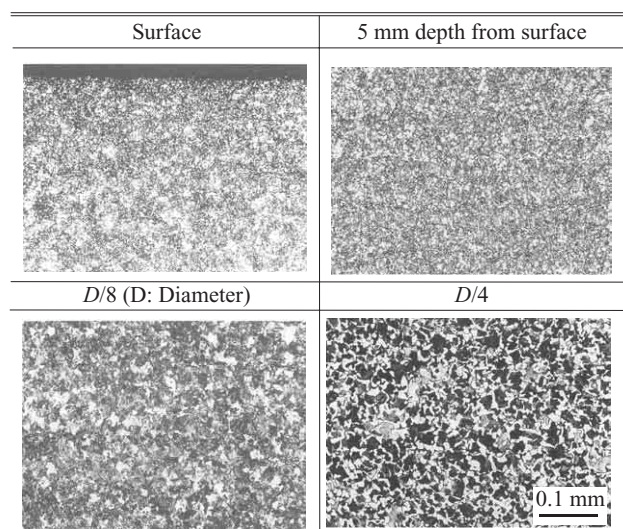


写真 2 ミクロ組織 (φ95, TQF700)  
Photo 2 Microstructure (φ95, TQF700)

表 1 TQF<sup>®</sup> 棒鋼の機械的性質例

Table 1 Mechanical properties of TQF<sup>®</sup> bars (φ95, V less steel)

Products	Strength class	Mechanical properties (D/4)				
		$\sigma_{0.2}$ (MPa)	TS (MPa)	EL (%)	RA (%)	$uE_{20}$ (J/cm <sup>2</sup> )
TQF700	700 MPa	467	746	23.6	46.7	66/>105*
TQF800	800 MPa	515	839	22.1	59.3	45/105*
TQF900	900 MPa	601	931	18.2	52.3	13/65*

$\sigma_{0.2}$ : 0.2% Proof stress      TS: Tensile strength  
EL: Elongation      RA: Reduction of area  
 $uE_{20}$ : Charpy impact value (U-notch, 20°C testing)  
\*D/8

フト類、ピストンロッドに調質材の代替として使用されている。参考までにVレス成分系でのTQF<sup>®</sup>棒鋼(φ95)の特性例を表1に示す。

### 3. おわりに

素材コストの低減や工程省略化に寄与する材料が強く要

望される中で、TQF<sup>®</sup>棒鋼はその特長から省エネルギー、省工程材料として好適だといえる。

#### 〈問い合わせ先〉

JFE 条鋼 仙台製造所 研究開発部

TEL : 022-258-5523 FAX : 022-259-4679

ホームページ : <http://www.jfe-bs.co.jp/>