

# 最近の TMCP による厚板組織制御技術の進展と高性能化

TMCP (Thermo-Mechanical Control Process) による厚板組織制御技術の進展と高性能化  
A. JFE Steel, H. P. Steel

鹿内 伸夫 SHIKANAI Nobuo JFE スチール スチール研究所 厚板・形鋼研究部長・工博  
三田尾真司 MITAO Shinji JFE スチール スチール研究所 厚板・形鋼研究部 主任研究員(副部長)・工博  
遠藤 茂 ENDO Shigeru JFE スチール スチール研究所 厚板・形鋼研究部 主任研究員(副部長)・工博

## 要旨

TMCP (thermo-mechanical control process

## 1. はじめに

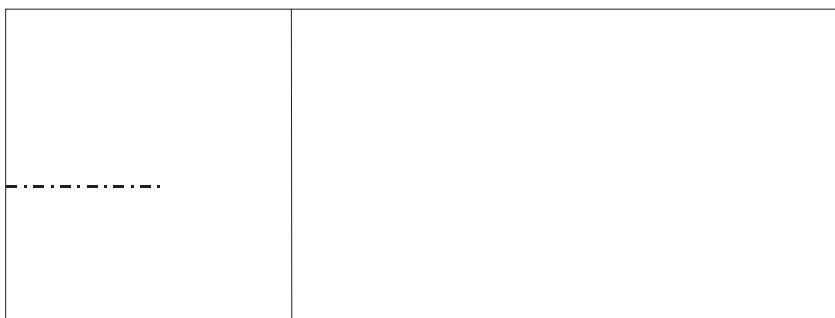
TMCP (thermo-mechanical control process: 加工熱処理, 熱加工制御) は, 制御圧延技術と制御冷却技術を組み合わ

せ, オンラインで組織を造り込むことにより, 優れた機械的性質を引き出す鋼材の製造技術体系である<sup>10)</sup>。JFE スチールは 1980 年に厚板のオンライン加速冷却装置(OLAC<sup>®</sup>: On-Line Accelerated Cooling)を西日本製鉄所福山地区にて世界で初めて工業的に実用化<sup>1)</sup>して以来, TMCP の高度化に向けた取り組みを続けている。

TMCP による鋼材の高強度化・高靱性化は, 基本的に制



冷却を開始し、たとえば 500 程度以上の温度で停止して、その後は放冷される。これに対し、オーステナイト域から加速冷却を開始し、常温付近まで加速冷却する処理を、直接焼入 (DQ) :



これに対し、破面遷移温度は、昇温速度に依存してデータが層別され、T.P. 値だけでは決まらない。通常のオフライン熱処理による焼もどしに相当する 0.3 /s の昇温速度で焼もどした試料に比べて、5 /s 以上の昇温速度で焼もどしを行った試料の破面遷移温度は約 10 低く、靱性が改善されていることが分かる。

写真 1 に、引張強度：610 MPa 級鋼で、T.P. 値がいずれも約  $16.5 \times 10^3$  (すなわち、強度的にはほぼ同じレベル) における、雰囲気炉焼もどし材と HOP 焼もどし材のセメントタイトの分布状態を比較して示す。HOP 焼もどし材においては、セメントタイトが均一・微細に分布しているのに対し (写真 1(b))、雰囲気炉焼もどし材においては、セメンタ

イトが凝集・粗大化している (写真 1(a))。靱性に対して悪影響を及ぼす粗大なセメントタイトが少ないことが、HOP 焼もどし材における優れた靱性の一因であると考えられる。なお、このレベルの大きさの炭化物は強度に対する寄与は小さく、強度については、昇温速度に依存せず、T.P. 値でほぼ一義的に整理できるものと考えられる。

HOP によるこのような炭化物の形態制御技術は、JFE-HITEN 610U2, JFE-HITEN 780LE など、引張強度 600 MPa 以上の高強度ハイテンに広く適用されている。また、JFE HYD960LE, JFE HYD1100LE は、降伏強度がそれぞれ 960, 1100 MPa の超高強度ハイテンであり、オースフォームと HOP による炭化物形態制御技術を有機的に組み合わせた商品である。優れた低温靱性を達成するとともに耐遅れ破壊性の大幅な改善が図られている。詳細は、本特集号の文献<sup>12)</sup>をご参照いただきたい。

### 3.2 M-A を活用した組織制御と 材質造り込み<sup>13,14)</sup>

一様伸びを向上させ、材料の塑性変形能を改善する場合には、軟質相と硬質相から成るミクロ組織制御が行われる。たとえば、建築構造用鋼においては、塑性変形能を向上させ、耐震性能を担保するために、降伏比 (YR : yield ratio, (降伏強度 / 引張強度) × 100) を小さくするように規定さ

れており ( JIS G 3136 ( 建築構造用圧延鋼材 ) においては , 板厚 16 ~ 100 mm に対し ,  $YR \leq 80\%$  が規定されている ) , TMCP , あるいは熱処理をとおして , フェライトとベイナイト複合組織にするなど , 軟質相と硬質相から成る組織の造り込みを行っている。

一般的に引張強度が 600 MPa 以上の高強度ハイテンの製造においては , ベイナイト , マルテンサイトなどの低温変態生成組織をベースとする組織制御に頼る部分が大きくなるため , 低 YR 化が難しくなる。このような高強度ハイテンにおいて低 YR 化を図るためには , 従来 , RQ-Q'T ( 図 5(a) ) , DQ-Q'T ( 図 5(b) ) などの , 多段の複雑な熱処理を行っており , 製品納期短縮などの観点から課題であった。

術は、建築構造用低 YR780 MPa 級鋼<sup>13)</sup> やラインパイプ用高変形能 X80 鋼 (JFE-HIPER)<sup>14)</sup> など、高変形能が要求さ