

# 討22

## 直接焼入設備の開発と操業

川崎製鉄㈱

水島製鉄所 吉原正典 ○上村尚志 吉村茂彦 板東清次  
技術研究所 木村 求 天野慶一

### 1. 緒言

水島製鉄所第2厚板工場では、昭和58年4月、制御冷却設備（ACC）と直接焼入設備（DQD）をFig. 1のごとくミルラインに配置した多目的制御冷却設備（MACS）を開発、稼動させた。<sup>1)</sup> 圧延後の鋼板を再加熱することなくミルラインで直接焼入するDQDの設置にともない、製造工程の省略によるエネルギーコストの低減、制御圧延との組合せによる、強度、じん性の優れた厚鋼板の製造が可能となった。本報では、MACSにおけるDQDの特徴と厚鋼板への適用について報告する。

### 2. 直接焼入設備の概要

本設備は、冷却水を充満した水槽の中で、鋼板を連続焼入する方式である。装置本体は、焼入処理を行うときだけミルラインに入り、一般材圧延中は、サイドシフトしてオフラインで待機するようになっている。本体をオンラインに組入れたまま上部水槽を上方待機させた状態で、一般材を通過させることも可能である。

### 3. 本設備の特徴

3-1 羽根車： Fig. 2に示すように、水槽内には、ローラと羽根車が交互に配設されている。上部ローラは、鋼板を拘束するものでなく、鋼板の反りなどに応じ、緊急上昇する機構としている。羽根車は、回転することにより、鋼板表裏面に平行流を形成し、上下面の冷却状態を一定に保つとともに、攪拌効果を利用して、新鮮な冷却水を鋼板表面に供給することを目的としている。

モデル実験機にて、羽根車周辺の水流を観察するとともに、羽根車の回転数と鋼板表面相当位置の流速を調査した結果をFig. 3に示す。鋼板表面相当位置での流速は、羽根車周速に比例して変化し、羽根車周速の75%程度となった。羽根車外周に設けたカバーの形状によっても水流が異なることがわかった。

実機においても、上下の羽根車を適正な回転数で回転

Specification for MACS

Item	ACC	DQD
Dimension of machine	5350x40000mm	5350x13000mm
Dimension of product to be processed	10-50x3350x38000	10-150x3350x50000
Max. supply of water	12000m <sup>3</sup> /h.	14400 m <sup>3</sup> /h.
Water supply pump (including stand-by)	High.Q. 4000m <sup>3</sup> /h. x70m x1150kw x2(VVVF) Low.Q. 3600m <sup>3</sup> /h. x40m x550kw x4	

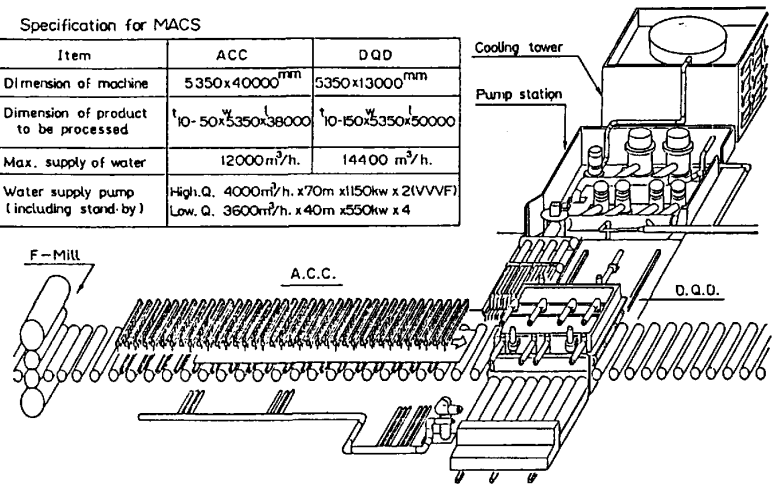


Fig. 1 Layout of Multi-Purpose Accelerated Cooling System (MACS)

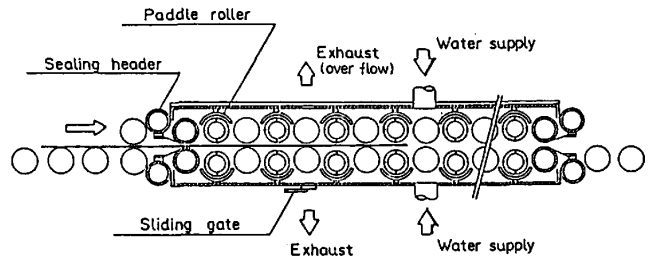


Fig. 2 Section of Direct Quench Device

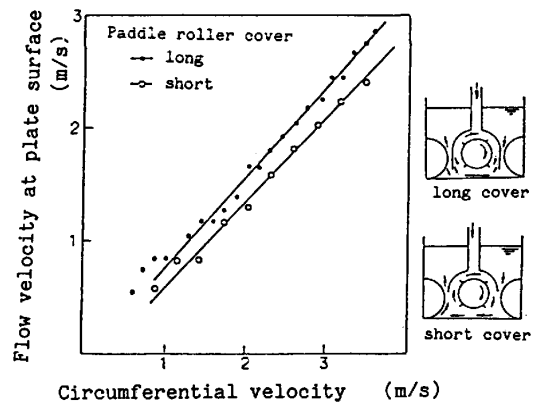


Fig. 3 Effect of circumferential velocity of paddle roller on water flow

させることにより、安定した作業を行っている。

3-2 冷却水の流出防止

スリットノズル： 水槽入口および出口には、スリットノズルを上下に対向させて設置し、冷却水の流出防止を図っている。スリットノズルの噴出圧力が  $4 \text{ kg/cm}^2$  程度あれば、板厚  $150 \text{ mm}$  まで完全な水切が可能である。

サイドシール： 水槽はバスラインを境として分割してあり、鋼板の板厚に応じて、上部水槽を昇降させる。したがって、水槽側面の分割部は、入出口同様に冷却水の流出防止を図らねばならない。そのため、Fig. 4 に示すようなゴムシートを利用した特殊なシール装置により、板厚  $150 \text{ mm}$  になっても充分なシール性能を得ている。

3-3 冷却水の給排水

本設備は、鋼板表裏面近傍の流速を制御できる羽根車を有するだけでなく、上下の給排水量を調整できる機能を有している。給排水口は上下対称に設けているが、下部の排水口は、開度調整可能な、スライド式排水ゲートとしている。この開度調整により、上下対称な給排水が可能である。

3-4 冷却水供給設備

MACSにおけるACCとDQDは、冷却水供給設備を共用している。水温上昇による冷却能力の低下をなくすため、クーリングタワーを新設し、水温の一定化を図っている。また、スリットノズルへの給水は、目詰防止のため、自動逆洗式ストレーナを介して行っており、さらに、ヘッダー直前の給水配管にはY型ストレーナを組込んでいる。水槽入出口のスリットノズル以外は、目詰りの心配がいらぬのも、本設備の特徴である。

3-5 冷却能力

羽根車方式を採用するに当っては、その冷却能力を他の冷却方式と比較するため、実験装置により各種方式の冷却能力を測定した。Fig. 5 に示すように、浸漬式などの冷却方式に比べ、当方式の冷却能力が高いことが確認できた。

実機においては、 $80 \text{ mm}$  の SUS 板に熱電対をうめ込み、板厚中心および表裏面から約  $15 \text{ mm}$  の位置の焼入時の温度変化を測定した。Fig. 6 はその冷却曲線から、表裏面別別に、熱伝達係数を求めた結果を示したものである。ローラクエンチの熱伝達係数に近い値となっている。

実作業においては、板厚毎に通板スピードを設定しているが、Fig. 7 に示すような通板スピードのとき、冷却後の鋼板温度は  $150 \text{ }^\circ\text{C}$  程度となっている。

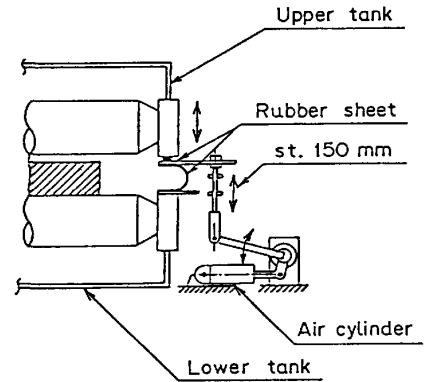


Fig. 4 Out line of side seal

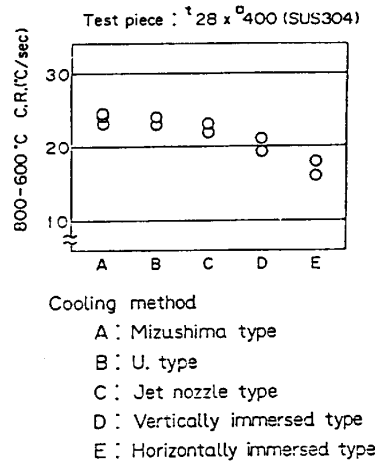


Fig. 5 Comparison of cooling rate of various quenching system

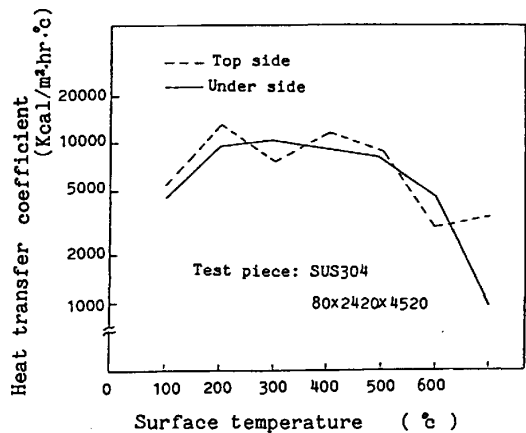


Fig. 6 Heat transfer coefficient calculated from cooling curve

3-6 自動運転

本設備は、冷却水の流量制御から、サイドシフトおよび配管の着脱、ならびに、上下ロールの開度設定および通板スピード設定は、全て自動運転を行っている。

4. 直接焼入により製造した鋼板の特性

直接焼入は、再加熱焼入にとってかわる省工程、省エネルギーのプロセスであるから、その適用鋼種は、従来の調質60キロ鋼、80キロ鋼はもとより、焼入れ、焼もどしをする特殊鋼はすべて対象となる。ただ、注意すべき点は、室温から焼入温度に再加熱されたあと焼入された場合と、圧延のための加熱温度に保持され圧延加工を加えられたあと直接焼入された場合では、炭化物や窒化物の固溶、析出状態が異なり、また、オーステナイト粒度も異なるということである。そのために再加熱焼入(RHQ)材と直接焼入(DQ)材は焼もどし後の機械的性質に差が生ずることがある。

Fig 8は、C/0.11%, Ni/1.0%, Cr/0.5%, Mo/0.2%, B/0.001%, N/0.0030%のHT80鋼のAl含有量と、機械的性質の関係である<sup>2)</sup>。RHQ材ではBを有効に作用させるため適量のAlを添加しNを固定する必要があるが、DQ材では、RHQの適正量よりAlを低減しても、強度、じん性は変化しないことがわかる。また、固溶温度の高い炭窒化物形成元素(例えばNb)は、再加熱焼入では焼入硬化にはほとんど寄与しないが、直接焼入では焼入性をあげるのに効果がある<sup>3)</sup>。さらに、直接焼入においては、圧延終了温度は機械的性質に影響を及ぼす。微細フェライトが主体であるHT60の場合、800℃までの低温仕上げはじん性を害することなく、むしろ細粒化による高じん性化傾向がみられるが、HT80の場合には、低温仕上げが強度、じん性に対して悪い結果をもたらす<sup>3)4)</sup>。

これらの基本現象を配慮して製造した直接焼入鋼の機械的性質の例をTable 1に示す。一部の鋼材は比較のため再加熱焼入

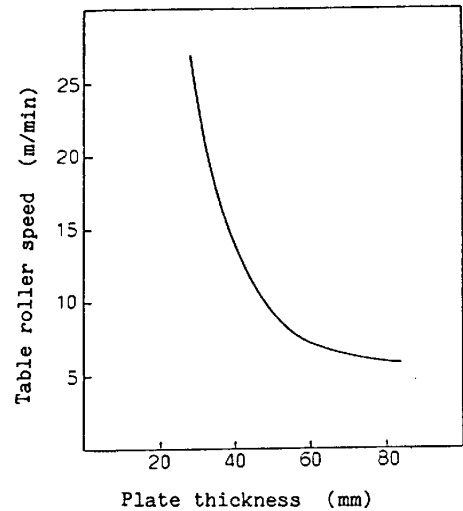


Fig.7 Table roller speed for direct quenching

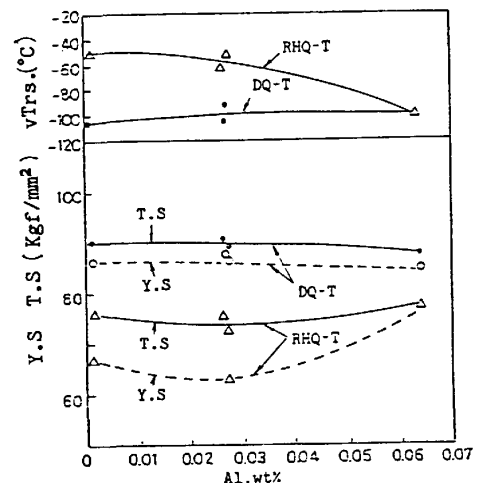


Fig.8 Effect of Al content on the mechanical properties of HT80 steel (Simulated thickness:50 mm)

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of materials produced by DQ process

Material	Thick (mm)	Chemical Composition (wt.%)										Tensile		Impact	
		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	YS (kgf/mm <sup>2</sup> )	TS (kgf/mm <sup>2</sup> )	vE (kgf-m)	vTrs (°C)	
EH36-060	75	0.09	0.28	1.50	0.007	0.001	0.78	-	-	-	38	52	(-80) 18.5	<-120	
HT60	25	0.12	0.30	1.31	0.015	0.003	-	-	0.05	0.04	58	66	(-10) 33.7	-82	
HT80	40	0.10	0.25	0.86	0.018	0.002	-	0.59	0.43	0.03	79	84	(-15) 21.5	-78	
"	80	0.14	0.25	1.08	0.017	0.004	-	0.67	0.40	0.03	75	83	(-10) 20.1	-63	
2¼Cr-1Mo	130	0.14	0.07	0.54	0.005	0.004	0.14	2.35	1.00	-	46.8	59.7	(-20) 24.8	-92	

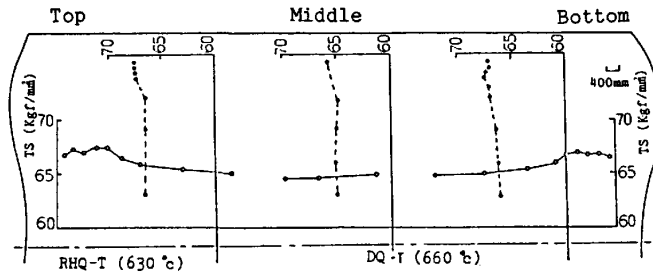


Fig.9 Distribution of tensile strength of HT60 steel (thickness:50 mm)

を実施しているが、DQ材はいずれも良好な性能を示している。とくにHT60やHT80では、低炭素当量化がはかられており溶接性も十分良好である。

また、直接焼入した鋼板の板内の材質分布の例をFig.9に示す。鋼板TOP部についてはDQ後RHQ-Tを行い材質の比較を行ったものであるが、図中に示したように、同程度の強度を得るための焼もどし温度は、DQ材の方が30℃ほど高くなっている。Fig.10には、HT80の焼入れ状態での板厚断面硬さ分布を示しているが、良好な焼入硬化状態が得られていることがわかる。

Fig.11はHT60について、DQ材とRHQ材の焼もどし後の機械的性質を比較したものである。DQ材の機械的性質およびそのバラツキは、RHQ材と同等である。

また、DQプロセスを利用することにより製造が可能になった氷海域海洋構造物用の50キロ鋼の母材と50 KJ/cmの入熱で溶接した継手溶融線部のCOD試験結果をFig.12に示す。図に示すように良好な結果が得られている。

5. 結言

羽根車式の直接焼入設備を水島第2厚板工場に設置し、その実用化を行った。本設備は、冷却水の給排水や流出防止などに独自の工夫をこらしており、上下羽根車の適正な使用条件により、優れた材質特性の厚鋼板を安定して製造している。

- 参考文献 1) 平井ら：鉄と鋼70 (1984) 5, S374  
 2) 今中ら：鉄と鋼70 (1984) 5, S634  
 3) 杉江ら：川鉄技報 (1984) Vol.16.2

掲載予定

- 4) 今輩倍ら：鉄と鋼70 (1984) 5, S633

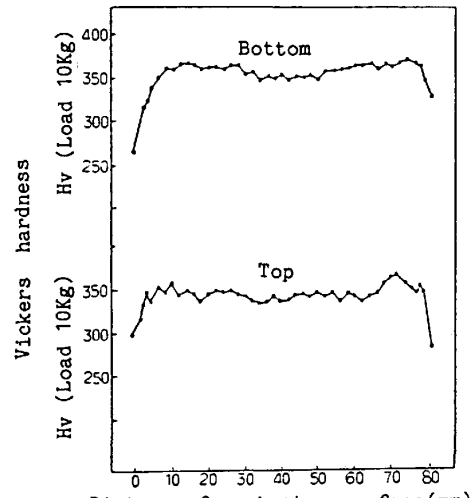


Fig.10 Vickers hardness through thickness of HT80 steel (thickness:80 mm)

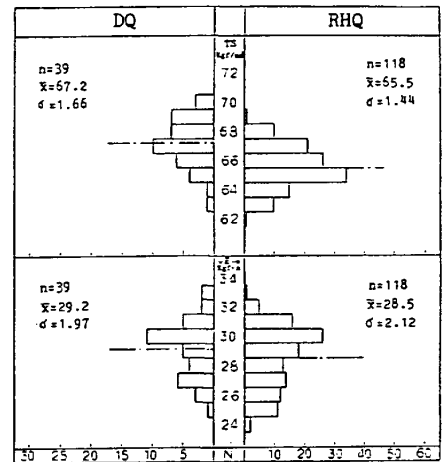


Fig.11 Mechanical properties of HT60 steel produced by DQ process compared with RHQ

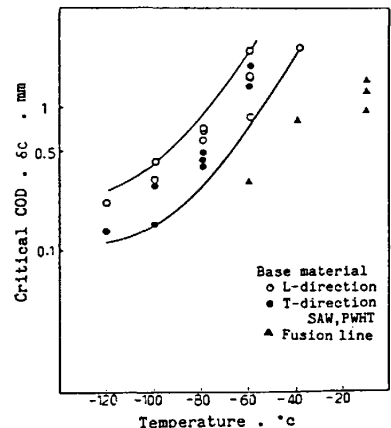


Fig.12 Results of COD tests of arctic offshore steels (thickness:75 mm)