

討23

オンライン熱処理による高張力厚鋼板の製造

住友金属工業(株) 中央技術研究所 大谷泰夫, 橋本 保, 渡辺征一
大阪本社 別所 清 鹿島製鉄所 細川能夫

I 緒 言

船舶, 海洋構造物, 産業機械の軽量化指向およびコストダウンの要請に応えるべく圧延鋼材のオンライン熱処理技術の開発が進んでいる。これらはHT50級の造船材および氷海域海洋構造物用鋼を中心に製造技術および使用技術の検討が推進されているが, それと並行してより高強度の調質鋼をテンパーを前提としてオンラインで焼入れを実施する直接焼入れも行われている。当社ではHT50級の低強度ハイテンを主対象として緩冷却型の加速冷却-途中水冷停止を行なう水冷装置をDAC (Dynamic Accelerated Cooling)-I また直接焼入れに主として利用する強冷却型的水冷装置をDAC-II という名称で区分している。これらのプロセスには鋼材に安定した性能を賦与するため重要な製造上の管理項目があり, それを可能にする装置上の工夫がある。本講演はプロセスの重要管理項目および装置について述べると同時にそれらを用いて製造した溶接性の良好な高張力鋼について紹介する。

II 材料特性に及ぼす製造条件の影響

ラインパイプ素材およびHT60, HT80級を製造する場合とで圧延条件およびテンパーの有無等製造条件が異なるので区別して以下に述べる。HT50級のオンライン熱処理技術は制御圧延による微細フェライトによって靱性を確保しながら変態強化により強度向上をはかるものであり一方HT60, HT80級は再結晶オーステナイトから最大の冷却速度で焼入れることにより理想的な焼入組織を得るという変態強化および靱化を利用するものである。

1. DAC-IによるHT50の製造条件の検討

1) 加熱圧延条件

Fig.1は炭素鋼とNb鋼の加熱温度を変化させ800℃仕上げにて8℃/sの冷却速度で600℃まで加速冷却した場合の強度・靱性を同一圧延の空冷材と比較した結果である。Nb鋼の場合950~1050℃加熱により靱性を損なうことなく5~10kg/mm²程度の強度上昇が得られる。これはオーステナイト粒径の微細化が靱性を劣化させずに高強度化をはかるのに重要であることを示している。また炭素鋼の場

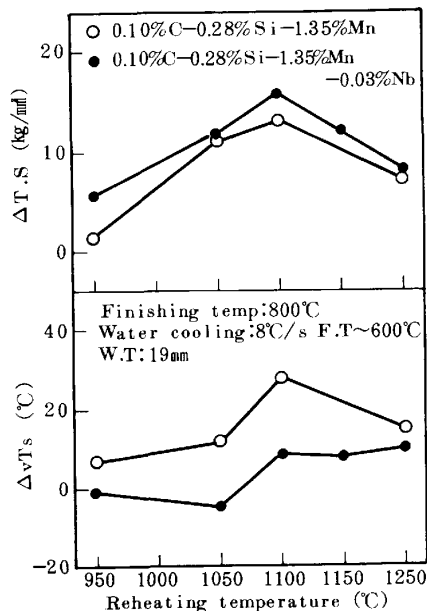


Fig.1 Influence of reheating temperature of slab on strength and toughness of accelerated cooled steel.

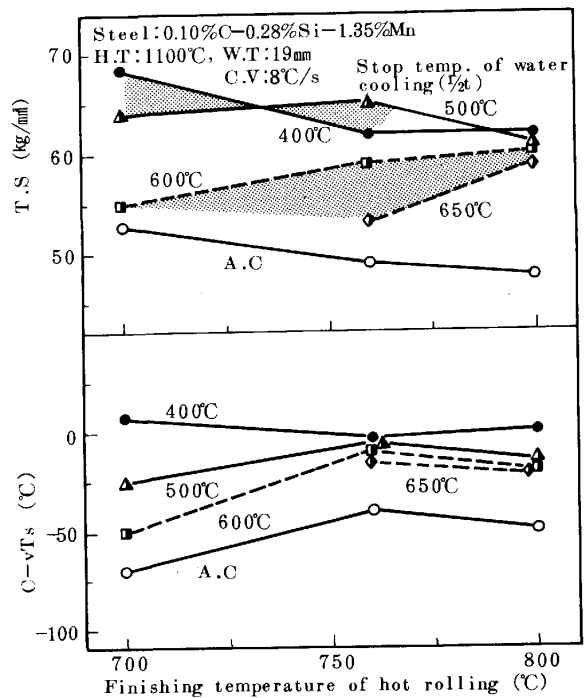


Fig.2 Influence of finishing temperature of hot rolling and cooling stop temperature on TS and vTs.

合靱性がわずかに劣化するがこれはNb鋼に比較してフェライト粒が粗大になることに起因している。炭素鋼を1100℃加熱後仕上温度を800~700℃に変化して加速冷却による強靱性変化を求めた結果をFig.2に示す。水冷停止温度が600℃以上であれば仕上温度が低いほど水冷による強度上昇が少なく高温仕上と低温仕上で強度差が縮まる。水冷の停止温度を500℃以下にすることにより圧延の仕上温度に関係なく大巾な強度上昇が達成される。

2) 加速冷却

加速冷却においては冷却速度が基本的に重要である。Fig.3はNb-V鋼を2圧延条件により制御圧延した後の加速冷却速度の強度-靱性変化に及ぼす影響を示す。冷却速度の上昇につれ強度は上昇するが靱性は殆んど変化しないかむしろ向上する。冷却速度5~20℃/sでTS 5~15kg/mmの向上が得られるのでこの程度の冷却速度を15~50mm程度の板厚で得られるよう冷却装置を設計すべきである。もう1つの重要な管理項目は水冷停止温度である。

2. DAC-IIによる調質鋼の製造条件の検討

1) 圧延条件

直接焼入れ処理は加速冷却と異なりできる限り速い冷却速度で焼入れた後焼もどすので、圧延加工-再結晶によりオーステナイト粒は微細な方がよくさらに重要なことは、'焼き'を良く入れることである。Fig.4はスラブ加熱温度とオーステナイト粒度番号との関係を示す。1100℃以下の加熱により6番以上の細粒が得られる。圧下量の増大につれ細粒化するので板厚に応じた加熱条件と圧下条件の選定が重要である。HT80等の合金元素を含有した鋼は未再結晶温度域が高温まで拡大する。未再結晶状態は粒界近傍の転位密度も高く変形帯も導入されているので変態が促進される結果焼入性が低下する。Fig.5にHT80の強靱性に及ぼす圧延仕上げ温度の影響を通常調質鋼と比較して示す。仕上げ温度800℃と900℃とを比較すると900℃の強靱性が全体的に優れており、かつ800℃仕上げ材が圧延方向とその直角方向とで強度の異方性が10kg/mm以上発生しているのに対し900℃では生じていない。800℃仕上げの場合オーステナイトの圧延集合組織がシア変態時に特定の晶壁面に変態することによって引継がれるためである。

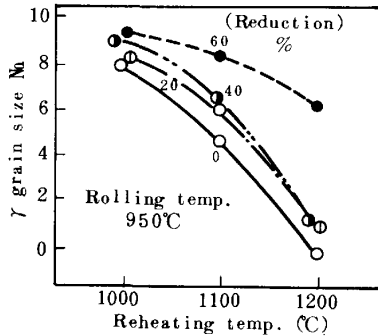


Fig.4 The effect of reheating temp. on grain size (HT80)

したがって直接焼入れの場合は低温加熱-高温仕上げが望ましい。

2) 焼入れ条件

圧延後焼入れ開始までの間にフェライトが生成すると強度特にYSの低下を招くのでフェライト変態前に焼入れを開始しなければならない。これはAr₃

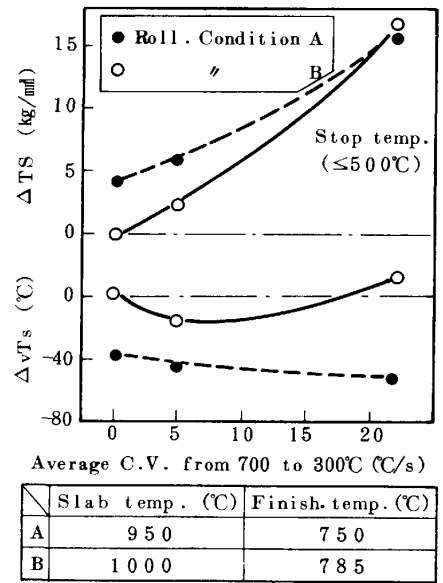


Fig.3 Influence of cooling velocity on TS and vTs
0.09C-0.2Si-1.4Mn-0.024Nb-0.05V

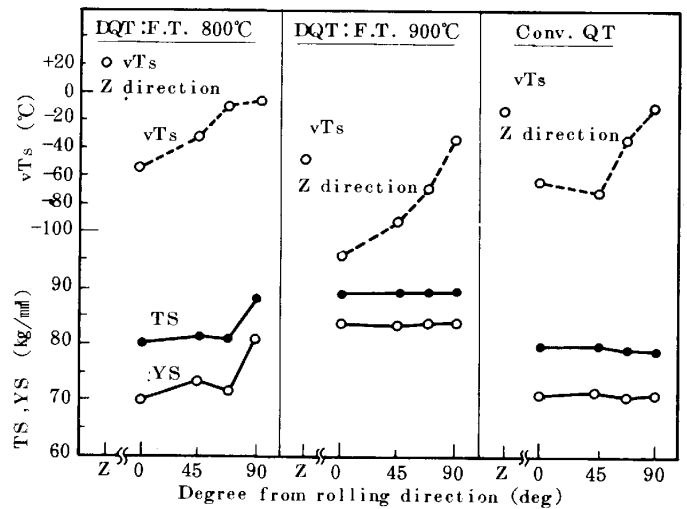


Fig.5 Mechanical properties of HT80
Condition: heating 1150°C: start¹⁰⁰ adjust⁸⁰ finish¹⁵.
direct-quenched 30sec later after final rolling+ temper

点の高いHT60の焼入れ中温度降下の大きい鋼板ボトム部で特に重要である。(Fig.6)

直接焼入れに限らないがこのようなオンライン熱処理技術に対しては製鋼技術、特に不純物低減技術が大きな影響をもつ。例えば直接焼入れは再加熱焼入れに比較して焼入性が高いことを活用するが、そのためにはN量を低下させることが必要である。N量が高いと圧延中および圧延後AlNを析出し周囲に歪場を形成することにより焼入性が低下する。Fig.6 Ferrite transformation (HT60) Fig.7に直接焼入れ処理に対する低N化の効果を示す。強度靱性が同時に向上することはこの改善が焼入性増大に起因していることを示唆している。この他製鋼段階で脱水素を十分行っておくことも焼入れままの状態での欠陥発生を防止するのに重要である。

III DAC冷却設備

鹿島製鉄所・厚板工場のレイアウトをFig.8に示す。2ndミルの後方にDAC-I-DAC-II-H/Lの順に配置してある。Fig.1に示すようにスラブ加熱温度を低くして良好な靱性値を得る場合には再熱炉(SHT炉)を利用して950℃程度の低温加熱をすることが可能である。またSHT炉とDAC-IIの組み合わせで通常熱処理装置を越える広巾-厚物の焼入れが可能である。DAC-IおよびDAC-IIの冷却能諸元をFig.9に示す。DAC-Iは上面CWC(Curtain Wall Cooling)方式で冷却するが下面はスプレー冷却を行なう。DAC-IIのローラーチェンチ設備については今さら言及するまでもなくこれまで多くの実績を残しており焼入れ装置の最高グレードのものである。

1. DAC-I

DAC-Iの設備の概観およびノズルをFig.10に示す。Fig.10において上面は層流水により、また下面はスプレーにより抜熱される。冷却装置で最大の課題は鋼板全面にわたって均一な冷却を行なうことにある。本装置で留意した点は以下の通りである。①上部ヘッダーにはCWラミナーを採用した。これはスプレーやパイプラミナーに比較して巾方向局部冷却ムラが少なく均一性に優れているためである。またエッジ部がセンター部に比べて過冷しやすいがこれを防止するため各種巾方向冷却制御機能を有している。②CWラミナー水量制

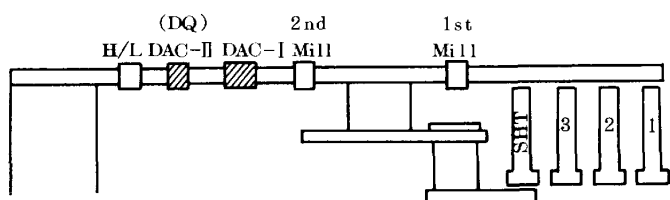


Fig.8 Layout of equipment of plate mill in Kashima Steel Works.

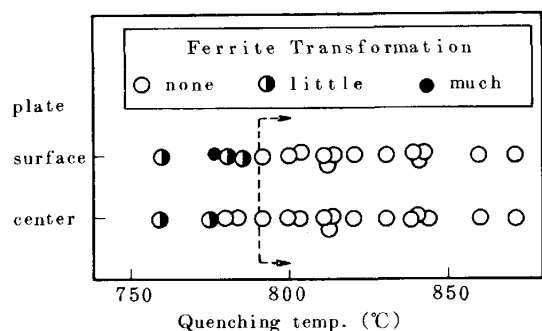


Fig.6 Ferrite transformation (HT60)

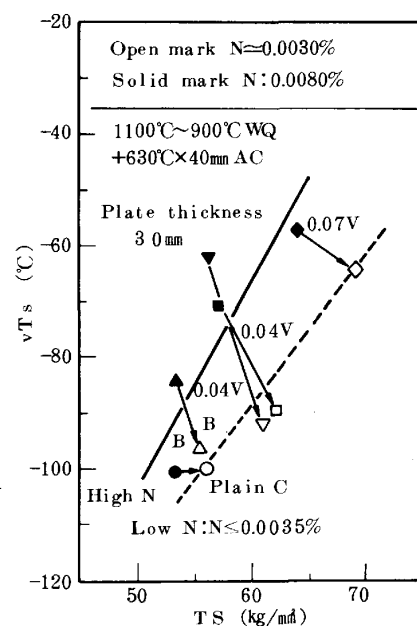


Fig.7 Influence of N content on the strength and toughness of direct-quenched and tempered steel (Base composition:0.1C-1.4Mn)

	DAC-I	DAC-II
Type	Upper:Slit laminar Lower:Spray	Upper:Spray Lower:Spray
Length(m)	27	14
Water(m ³ /min)	Upper:15/45 Lower:30/90	Upper:56 Lower:56

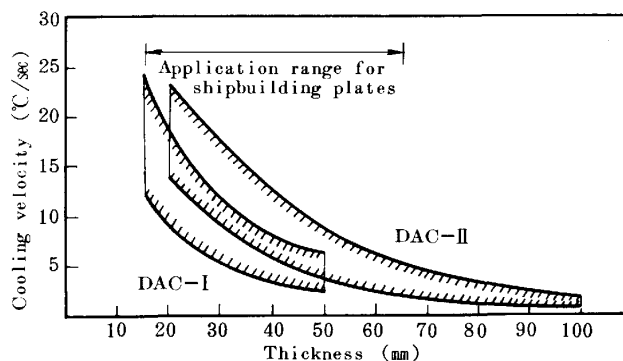


Fig.9 Capacities of DAC-I and DAC-II

御範囲の拡大と巾方向局部冷却ムラをミニマイズするために、ノズルに適正なテーパーを付与した。

③下部スプレイ冷却のヘッダーを2重管構造にして巾方向に均一な水量分布にする配慮がなされている。このような工夫を駆使することによって板全体にわたって均一な機械的性質を有しかつ平坦度の良好な鋼板の製造が可能となった。

2. DAC-II

DAC-II は Fig.6にも示したように焼入れボトム温度をAr₃点以上に保つことが重要である。

このため保温カバーを設置し、幅射による温度降下を防止している。特に板厚の薄い鋼板に効果を発揮している。(Fig.11)

IV DAC適用製品

DAC適用製品を Table 1に示す。変態強化により

溶接性を改善しているので溶接性の改善効果が最も大きい。高能率大入熱溶接施工を行っても苛酷な使用条件下で使用して十二分に安全な構造物を建造し得る各種の高張力厚鋼板の製造に今後益々利用されていくものである。

V 結 言

DAC法は需要家に多大のメリットをもたらすものであるがその製造にあたっては圧延から冷却に至る金相学に裏づけされた技術が重要である。特に冷却について安定して均一な性能を得るための設備の改善点を紹介した。本技術を活用した鋼板は良好な母材性能および溶接性を有し需要家の応望に答えている。さらに低N化等の製鋼段階の不純物コントロール技術はこれらのプロセスの特色をフルに発揮させるための必須の技術と言っても過言ではない。

Table 1. Examples manufactured by DAC process

Process	Steel	Chemistry							Thick-ness (mm)	Base plate			Toughness of bond vE _T (kg-m) (Heat Input kJ/cm)
		C	Si	Mn	Ni	V	Ceq	P _{CM}		YS (kg/mm ²)	TS (kg/mm ²)	vTs (°C)	
DAC-I	AH36: Plain C	0.16	0.22	0.95	-	-	0.32	0.21	25	42.5	53.1	- 47	vE ₋₂₀ =8.5 (FCB H.I. 170)
SHT-DAC-II	EH36M: 0.6Ni-Nb-Ti	0.05	0.12	1.21	0.61	Nb 0.015	0.31	0.13	50	39.6	55.2	<-100	vE ₋₆₀ =14.7 (SAW H.I. 100)
DAC-II-T	HT60: low N-V	0.09	0.30	1.35	-	0.06	0.34	0.18	38	53.4	63.0	- 67	vE ₋₁₅ = 8.8 (FCW H.I. 100) 22.4 (SMAW H.I. 70)
DAC-II-T	HT80: Non Ni	0.10	0.06	1.10	Mo 0.20	0.04	0.50	0.23	44.5	79.2	85.4	-106	vE ₋₃₀ = 9.1 (SAW H.I. 45) 4.1 (SAW H.I. 60)

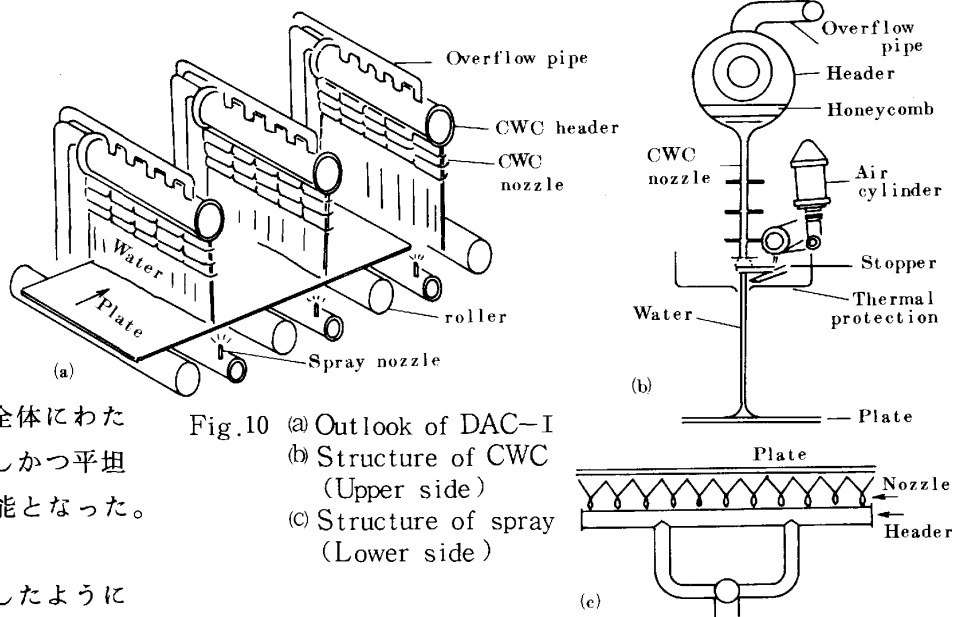


Fig.10 (a) Outlook of DAC-I
(b) Structure of CWC (Upper side)
(c) Structure of spray (Lower side)

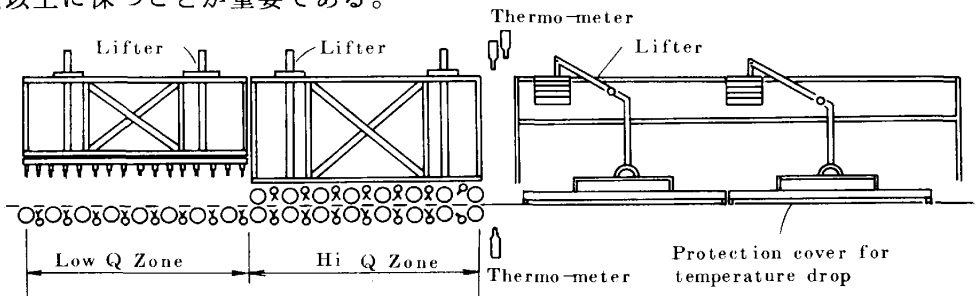


Fig.11 DAC-II and protection covers for temperature drop