



日本鉄鋼業における独自技術の開発と現在-2

厚板における制御冷却技術の発展

Development of Accelerated Cooling Technology for Steel Plate

新日本製鐵(株) 厚板部会
元幹事(現名古屋製鉄所)

木下浩幸 Hiroyuki Kinoshita

住友金属工業(株)
厚板部会幹事

安藤隆一 Ryuichi Ando

JFEスチール(株)
厚板部会幹事

和田典巳 Tsunemi Wada

(株)神戸製鋼所
厚板部会幹事

村上弘樹 Hiroki Murakami

1 緒言

TMCP (Thermo Mechanical Control Process) は、鋼材の強度、靱性、溶接性を向上させる材質制御プロセス技術として、厚板を中心に開発された技術である。TMCPとは、熱間圧延工程において加熱温度、圧延温度および圧下量を制御する制御圧延 (CR; Controlled rolling) を基本に、その後の空冷または強制的に制御冷却 (加速冷却/ACC; Accelerated Cooling) する技術の総称であるが、ここでは狭義に制御圧延後、加速冷却する技術を指し、TMCPと呼ぶ。

1950年代には既に圧延後直接焼入れプロセスを採用した商品が出されたが量産化には至らなかった。その理由として、圧延長さの制約、均一冷却性 (材質、形状) などの課題が克服できなかった事が挙げられる。TMCPは、その後、メタラジー、制御冷却設備の検討を経て1980年代に花開いた技術である。TMCPが開発されてから20年以上経過したが、この間にTMCPは着実にその適用範囲を拡大し、今や厚板を製造する上で必要不可欠な技術として定着している。TMCPは、また、省合金、省エネルギープロセスでもあり、地球環境保護の観点からも有意義な技術である。

TMCP鋼は、高強度高靱性鋼でありながら、溶接性は圧延ままの鋼に比べ格段に優れ、溶接施工の高効率化が図れることから、需要家での評価は高く、その適用分野は造船をはじめ、海洋構造物、ラインパイプ、建築など、殆ど全ての分野に及んでいる。現在、日本の厚板生産量の約20%はTMCP鋼が占めており、特に、引張り強さ490MPa以上の高強度鋼の分野では実に約40%に及ぶなど、TMCP鋼は大きくマーケットに浸透している。さらに、今後、需要家からの一層の高強度化、高靱化要求や新たな機能創出の要求も予測されることからTMCPの更なる発展が期待されている^{1,2)}。

本論文では、厚板分野に於ける水冷型TMCPメタラジーの概念、TMCP設備並びに最近のTMCPメタラジーなどの

動向に関して紹介する。

2 TMCPメタラジーの概念と特徴

TMCP鋼の特徴は、圧延ままの鋼、ノルマ鋼などに比べ合金元素に頼らずに水冷による組織制御で高強度・高靱性を達成でき、かつ極めて低い炭素当量で同等強度の鋼材を製造することができるため、溶接時の予熱温度の低減・省略が可能となることである (Fig.1)^{3,4)}。炭素当量が低い事は、溶接熱影響部 (HAZ; Heat Affected Zone) 硬さを下げ、マイクロ偏析に起因する局所的な硬化相を形成しにくいことから、溶接部靱性確保が容易であり、後述する熱影響部組織制御技術と組み合わせる事により大入熱溶接においても良好な靱性確保が可能となる。

低炭素当量でも強度・靱性の良好なTMCP鋼を製造する

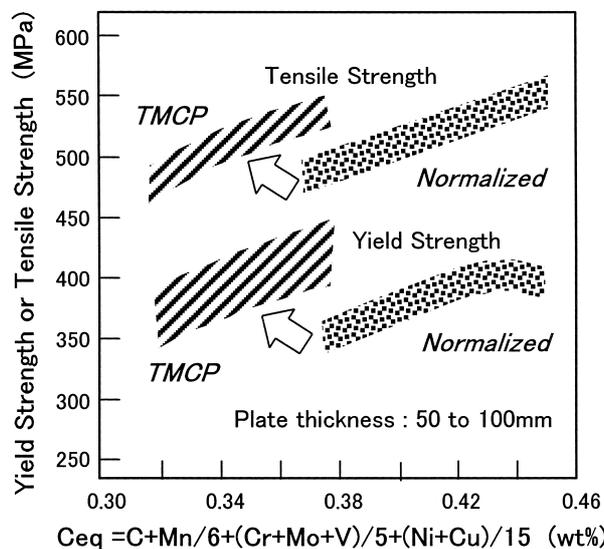


Fig.1 Relationship between Ceq and strength for TMCP and Normalized steels

ための組織制御の考え方について簡単に説明する (Fig.2)⁴⁾。TMCP鋼では、しばしばNb, Ti, Alなどの元素が微量添加される。これらの元素の炭窒化物 (NbCN, TiN, AlN等)は、加熱段階で、Pinning効果によりオーステナイト粒の粗大化を抑制する。加熱後、通常の圧延ではオーステナイト再結晶温度域において、繰り返し圧延が実施される。これにより、組織は回復・再結晶を繰り返し、オーステナイト結晶粒は微細化し、そのまま空冷することでオーステナイトから発生したフェライト・パーライト組織も当初のスラブ凝固組織に比べると大幅に微細化する。これが通常の圧延ままの鋼板における圧延組織制御の考え方である。しかしながら、その細粒化には限界があり、例えば高靱性化のためにノルマ熱処理により組織を微細化したり、高強度化するために各種の合金元素を添加する事が行われてきた。これに対し、TMCP鋼ではオーステナイト再結晶圧延後、さらにオーステナイト未再結晶領域と呼ばれる低温域で繰り返し圧延を実施することにより、変形されたオーステナイト中に変形帯を導入する。Nbが添加された鋼では、圧延中のNbCN 歪誘起析出による再結晶抑制効果のため、未再結晶領域が高温化し、極端な低温圧延を実施せずとも多量の変形帯を導入し得る。オーステナイトからフェライトへの変態に際しては、この変形帯も変態核として有効であることが判っている。圧延後の水冷によ

り、結晶粒の成長を抑制し、極めて微細なフェライト組織、またはベイナイト組織、さらに冷却速度が速い場合にはマルテンサイト組織が得られる。この結果、例えばフェライト・パーライト型の引張強さ490 Mpaクラスの鋼においては、従来のノルマ法では10ミクロン程度の細粒化が限界であったものが、TMCP化により5ミクロン以下にまで細粒化が可能となった。

3 加速冷却設備

圧延後の顕熱を利用し、オンラインで加速冷却し、高靱性・高強度鋼板を製造する技術について1970年後半より本格的に研究が進んだ。そして1980年に日本厚板ミルに世界ではじめてオンライン加速冷却設備が導入された。それから20年間、加速冷却設備は、世界各国の厚板ミルに設置され、制御圧延技術にこの加速冷却技術が組合わされて、低成分・高機能・工程省略型の製造方法へと発展し、高品質化のニーズに対応した厚板製造に貢献している。さらに、圧延後の鋼板を常温まで一気に冷却 (直接焼入れ) するDQ (Direct Quench) プロセスも実用化された。この方法は、従来のオフラインでの再加熱-焼入-焼戻し (T ; Temper) する方法に比べて再加熱を省略できるため急速に拡大した。

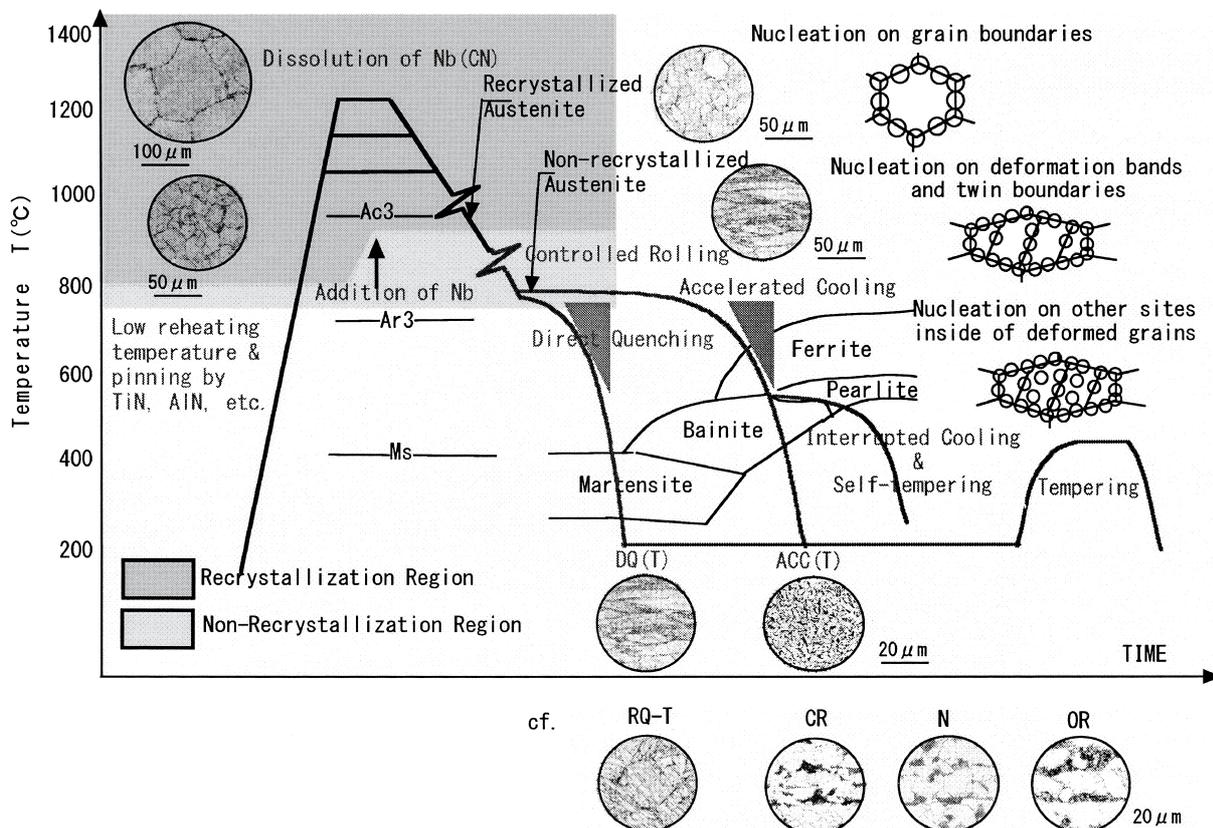


Fig.2 The schematic diagram of microstructure change during TMCP process

3.1 加速冷却設備の分類⁵⁾

各社の加速冷却設備の導入状況をTable 1⁵⁾に示す。

オンライン型の加速冷却設備は、板の冷却の搬送方式によって一斉冷却方式と通過型冷却方式がある。一斉冷却方式は、圧延後の鋼板全長にわたって一斉に冷却水を噴射して冷却を施すものである。均一冷却の点から冷却装置内でオシレーションを行うことが一般に行われている。しかしながら、冷却設備長が鋼板長以上必要であること、冷却終了時に鋼板上面に冷却水が滞留し局所的な過冷却を起こしやすいことなどから、その後、鋼板を通過させながら冷却を施す通過型冷却方式が主流となった。Table 1に示すように通過型冷却方式の加速冷却設備は、設備長が20 m前後のものが多く、一斉冷却方式に比べてコンパクトになっている。

また、冷却中の鋼板を拘束しながら冷却するか、無拘束で冷却するかによって、拘束型冷却方式と無拘束型冷却方式がある。鋼板を上下のロールで拘束しながら冷却するため、上下のノズルを比較的鋼板に近接させることが可能である。一般には、上下ともスプレーノズルを採用したものが多く、一方、無拘束冷却方式は、ホットストリップミルのランナウトテーブル上の冷却に代表される冷却方式である。ノズルは、鋼板との衝突を避けるためにパスラインから距離を持たせて配置され、ノズル-鋼板間距離が離れても冷却能力が比較的に変わらないラミナー方式が採用されている。

オンライン加速冷却装置を設ける位置については、ホットレベラ前、ホットレベラ後、ホットレベラを2つ設けてその間に設置する場合がある。ホットレベラ前に加速冷却設備を設置する場合は、冷却開始温度に自由度がありミルの生産性を阻害しない点で有利ではあるが、圧延歪が残留した場合、

加速冷却装置の均一冷却性にやや難点がある。また、ホットレベラを通した後に加速冷却を実施する方法は、圧延材の形状を矯正した後に冷却することになり、拘束型の加速冷却が可能である。しかし、圧延終了から加速冷却開始までに時間がかかるためホットレベラの位置によっては冷却開始温度が低くなる問題がある。一方、加速冷却前後にホットレベラを設置する方式は、圧延歪を除去後に加速冷却できかつ、加速冷却で発生した歪を後のホットレベラで取り除ける点で有利ではあるが、設備費は高くなる。

3.2 冷却ノズル⁵⁾

加速冷却に用いられる冷却ノズルは、幅の広い鋼板を冷却するために、冷却均一性が重視されている。以下に主な冷却ノズルの特徴を記すとともに、模式図をFig.3⁵⁾に示す。

3.2.1 ラミナーノズル

ノズル出口の噴流の速度が比較的遅い場合に、水流が層流となり、この層流の水流によって冷却するものである。ノズルと鋼板距離を離しても高い冷却能力が得られるので無拘束型冷却方式の冷却ノズルとして多くの実績がある。パイプから円柱状の冷却水流を形成する円管ラミナーノズルやスリット状のノズルから平板状の冷却水流を形成するフラット(スリット)ラミナーノズルがある。

3.2.2 スリットジェットノズル

ノズル出口の噴流速度が比較的速く、噴流表面がこぶ状の乱流状態の噴流で冷却する冷却ノズルである。ノズル鋼板間距離が離れると乱流状態の冷却水流がアトマイズして冷却能

Table 1 Major ACC Equipments in the world

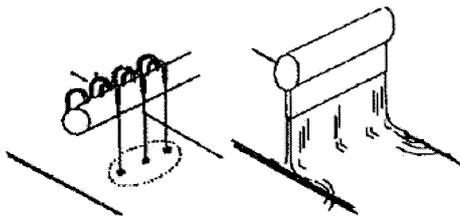
Country	Company	Mill	Start up	Name of system	Location (before, after or between H.L.*)	Type of ACC equipment			Length (m)	Nozzle		DQ availability
						Simul-taneous	Pro-gressive	Pinching roll		Top side	Bottom side	
Japan	A	A	1984	CLC	just after		○	○	21	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	○
		B	1983	CLC	just after		○	○	20	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	○
		C	1986	CLC	just after		○	○	14	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	1st part:Slit jet 2nd part:Spray	○
	B	A	1983	DAC I	before		○		27	Slit laminar	Spray	
			1984	DAC II	before		○	○	14	Spray	Spray	○
	C	A	1983	KCL	before	○	○		39	Laminar	Spray	
			1985	KCL(DQ)	before		○		5	Slit jet + Laminar	Slit jet + Spray	○
	D	A	1985	OLAC II	before		○	○	20	Laminar	Close suction laminar	○
			2004	Super-OLAC	between		○	○	20	Corridor flow	Close suction laminar	○
		B	1983	MACS(ACC)	before	○	○		40	Rod-like nozzle	Dish-like jet	
			1983	MACS(DQ)	before		○	○	13	Immersion+Stir	Immersion+Stir	○
		C	2003	Super-OLAC	between		○	○	12	Corridor flow	Close suction laminar	○
			1980	OLAC	before	○			44	Laminar	Spray	
	Europe	F	A	1989	ADCO	before		○	21	Mist	Mist	○
B			1986	MULPIC	before		○	30	Pipe	Pipe	○	
G		A	1984	MULPIC	before		○	12	Pipe	Pipe	○	
		A	1984	MACOS	before		○	12	Laminar	Laminar	○	
J		A	1995	ADCO	between		○		Mist	Mist	○	
Taiwan	K	A	1994	CSAC	between		○	24	Laminar jet	Laminar jet		
Korea	L	A	1989	ADCO	before		○		Mist	Mist	○	

*H.L.:Hot leveler(s)

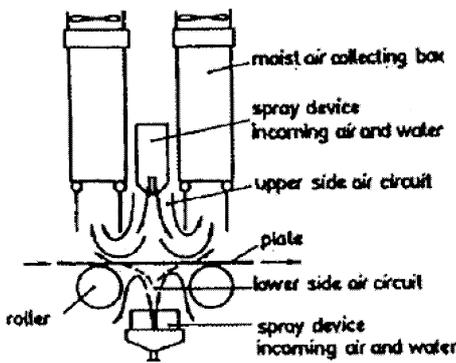
力が落ちる傾向にあるので、ノズルを鋼板に近接させる拘束型冷却方式で使用されている。

3.2.3 スプレーノズル

水を加圧して、破断した液滴流によって冷却する冷却ノズルで、さまざまな市販品が安価に入手できる最も一般的に用いられるノズルである。厚板への適用に際しては、ノズルを



(1) Pipe laminar nozzle (2) Flat laminar nozzle



(3) Mist nozzle

Fig.3 Typical nozzle system

多数配置するので、噴射パターン、噴射角等の選定が重要である。

3.2.4 ミストノズル

水を加圧した空気によって微粒化し、微細な液滴群で冷却する方法である。空気を供給するために配管が複雑となるが、噴射角を大きくとることが可能で1本当りの噴射範囲が広い。

なお、これらの基本的な冷却特性に関しては精力的に研究され、整理されている。冷却特性を表す熱伝達率は、各冷却ノズルに関して、水量密度(単位体積当りに供給される水量)と表面温度の関数として整理されている。

3.3 歪対策への取り組み⁵⁾

加速冷却技術において重要なポイントは、幅の広い鋼板を均一に冷却し、材質の均一化とともに平坦な形状を確保すること、すなわち歪対策が最大の課題である。

実際の加速冷却装置において冷却の均一性を高める種々の取り組みが検討された。ノズルを千鳥配置にする方法や、上下面均等に冷却するために下面の水量を上面水量の2~2.5倍にする方法などがある。また、一斉冷却方式では鋼板上面の排水性という特有の問題に対する上面冷却ノズルのON-OFF特性の向上対策として、ノズルの形式に工夫が施された。

均一冷却に関する取り組みは、歪発生のない冷却技術開発へと移行し、より高い冷却制御の実現を目指した研究開発が行われた。Fig.4⁵⁾に示すように、厚板の形状不良としては、板幅方向に生ずる上に凸あるいは下に凸の曲がり

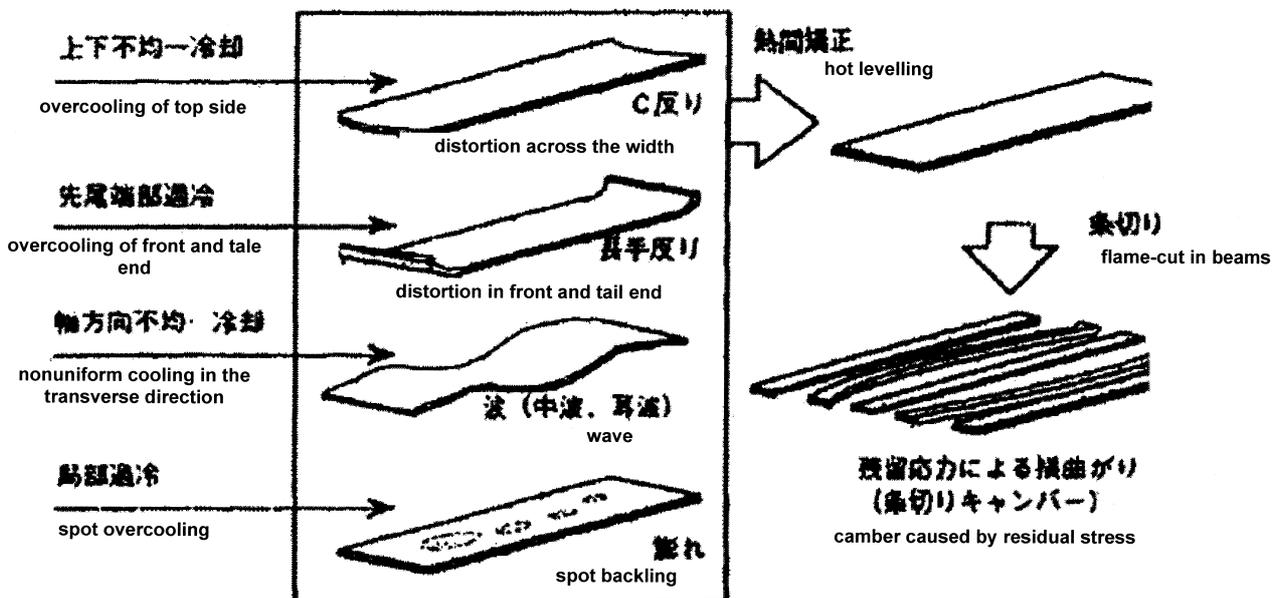


Fig.4 Flatness distortion due to nonuniformity of cooling

るC反り、先端あるいは尾端が跳ね上がるL反り、条切り後にキャンバが発生する条切りキャンバ等があげられる。この歪の発生原因の一つに不可避的な鋼板の四周部の温度低下があげられる。これに対して、ハード的には、幅方向の板端部の冷却制御として、幅方向の水量分布にクラウンをつける方法 (Fig.5)⁵⁾、板端部への冷却水を部分的に遮断するエッジマスク (Fig.6)⁵⁾、フローパターンや熱伝達率に関する知見をベースに伝熱モデルから板幅方向の最適水量分布を付与する方法、また、鋼板の先端および尾端部の冷却制御として、鋼板の先端と尾端が通過する際に冷却水を遮断するフロントテイルマスク制御 (Fig.7)⁵⁾が提案されている。さらに、熱歪は、鋼板上面と下面の小さな温度履歴差に起因して発生することから下面ノズル配置を最適化して上下冷却能バランスをとる方策が検討されている。

さらに、数値解析手法の進展によって冷却パターンや温度履歴の違いによる歪発生を予測する技術が開発された。熱弾塑性解析によるC反りメカニズムの数値解析、先端反り制御の検討、冷却中反り解析が行われている。このような解析技術と温度計測を組み合わせ、形状や品質判定をオンラインで行う取り組み、条切りキャンバの解析、温度分布に基づい

た形状評価システムや残留応力評価が行われている⁶⁾。

以上のように、均一冷却による材質・形状の安定化は、加速冷却にとり重要要素であり、各社共にさまざまな対策を講じてきている。

4 TMCP鋼の分野別適用状況¹⁾

マーケットニーズとTMCPの役割との関係をTable 2¹⁾に示す。TMCPは、造船業界での適用を皮切りに、厚板のほとんど全ての分野にその適用範囲を拡大してきた (Table 3)¹⁾。TMCPの適用範囲がこれ程までに拡大したのは、TMCPの持つ本来の特性が、需要家の要求に合致していたことに加え、TMCP技術とそれを支える様々な要素技術のたゆまない開発により、厚板の各利用分野における個別の要求に次々と対応することを通じ、TMCPの可能性と適用範囲を自ら拡大してきたことによる。

以下に、厚板の代表的な利用分野におけるTMCP鋼の適用状況について述べる。

4.1 造船分野

TMCP鋼は、まず造船業界において、急速に拡大した。TMCP鋼の出現は、また、高張力鋼 (HT) の使用拡大も促した。Fig.8¹⁾は大型タンカーにおけるHT比率 (一船当たりの全鋼材使用量に占めるHT材の割合) の推移を示す。TMCP鋼の出現に伴い、従来20~30%のHT比率が60~70%に増加し、しかも降伏点390MPa級鋼まで使用されるに至った。HT比率の向上や高降伏点鋼の採用は、船舶の大幅な軽量化や省エネルギーを可能とし、経済性の向上と地球

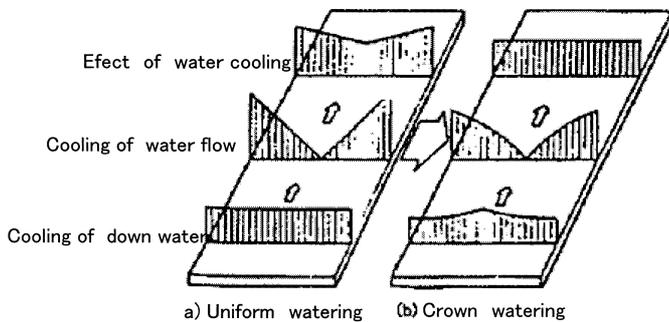


Fig.5 Cooling control system to maintain flatness of plate (1) ~ Water crown in the transverse direction

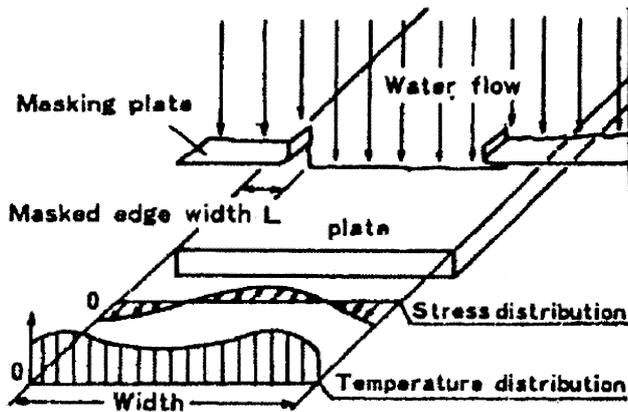


Fig.6 Cooling control system to maintain flatness of plate (2) ~ Edge screening

Controlled area by F/T/M

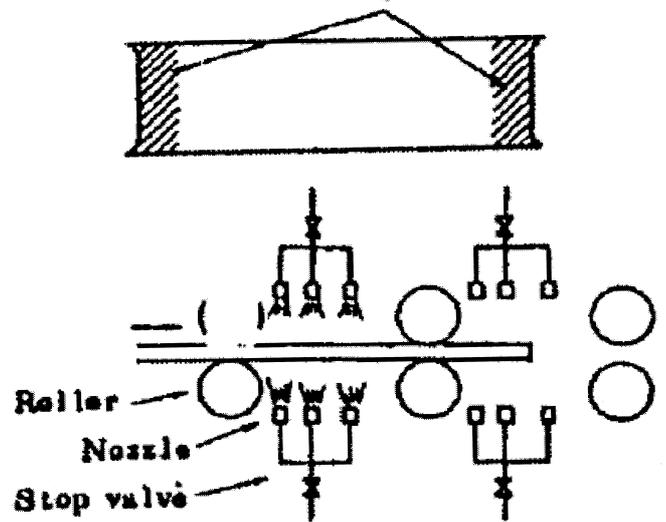


Fig.7 Cooling control system to maintain flatness of plate (3) ~ Head・tail screening

Table 2 Relationship between TMCP and markets needs

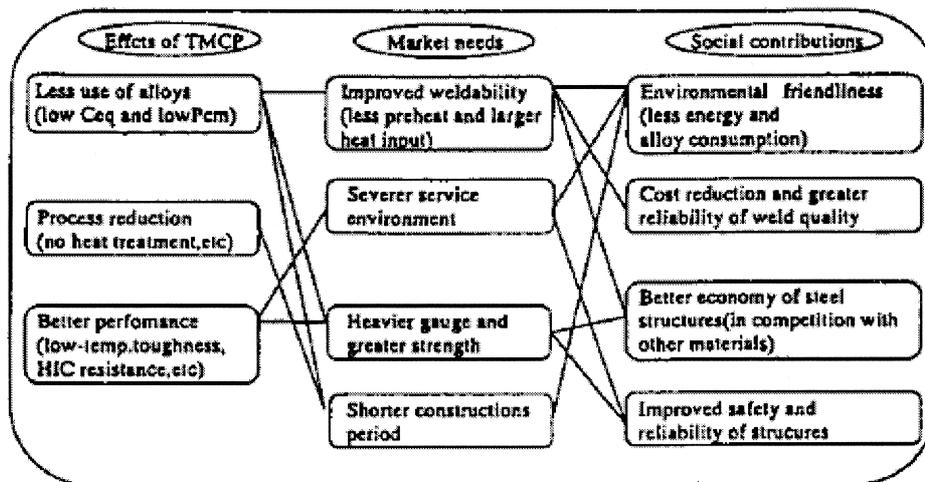


Table 3 Application and strength level of steel plates manufactured by TMCP

Use	Strength level	○: TMCP (including DQ)				
		TS 490 (MPa) class	TS 590 (MPa) class	TS 690 (MPa) class	TS 780 (MPa) class	TS 950 (MPa) class
Shipbuilding		○	-	-	-	-
Offshore structure		○	○	-	-	-
Line pipe		○	○	○	○	-
Building		○	○	○	○	-
Bridge		○	○	○	○	-
Penstock		○	○	○	○	○
Storage tank at low temp.		○	○	-	-	-
Storage tank at cryogenic temp.		○Low Ni	-	○9%Ni	-	-
Earth moving equipment		○	-	○	○	○

いる⁷⁾。

一方で、大量の原油流出事故や船舶の座礁沈没事故が世界各地で発生しており、安全性の面からの船舶の破壊事故に対する関心も高まっている。この対応として船体構造の安全性・信頼性向上を目的とした高アレスト鋼板が開発されている。また、需要家における鋼板の切断、溶接などの施工時に発生する変形に対処するために、残留応力を制御した鋼板が開発されている。完全な温度分布制御による残留応力の均一化は困難なため、TMCP工程で発生する残留応力をハード（強力レベラによる矯正）並びにソフト両面から統合的に制御した低残留応力型TMCP鋼板が開発されている⁸⁾。

Study on TMCP by steel maker

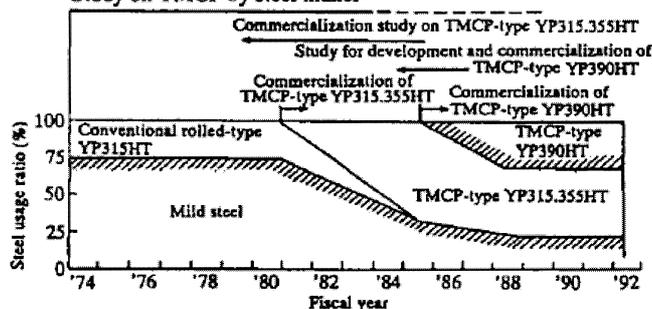


Fig.8 Transitions in the ratio of HT steel used in a large tanker constitution of the integrated model

環境保護に、大きく貢献するものである。

また、輸送効率の向上の観点から、コンテナ船の大型化の進歩もめざましい。直近では6000個積を越えるレベルの大型船体が既に実用化されている。その船体のシアストレイキやハッチコーミング等の重要部材に板厚60 mmを越す厚手降伏点390 MPa鋼が適用され、350~450 kJ/cmという超大入熱溶接 (EGW1パス; Electro Gas Welding) が実施されている。これについてもTMCPをベースに、HAZのマイクロ組織粗大化防止技術との組み合わせにより、開発されて

4.2 海洋構造物分野

近年、海底エネルギー資源の開発拠点は深海域へ、更に北海北部や北極海のような寒冷海域へ移りつつある。これに伴い建造される海洋構造物も大型化すると同時に厳しい環境にさらされるため、使用鋼材のスペックも厚手化、高靱化へと変化してきた。さらに、使用鋼材の降伏強度レベルは降伏点355 MPa級から420 MPa級へ、さらに最近では降伏点500 MPa級鋼も適用されてきている。この分野では構造物の安全性への信頼度をより高めるため、破壊靱性評価として、継手部のCTOD (Crack Tip Opening Displacement) 値、たとえば、0.25 mm at -10℃が要求されるケースが増加している。こうした要求への対応には、TMCPの適用は必須であり、かつ、制御脱酸を利用した高HAZ靱性鋼も開発されている。

4.3 建築・橋梁分野

阪神大震災の教訓をもとに溶接部の靱性要求の厳格化が進むと共に、建築物の大型化 (高層化・大空間化) による厚手化、大入熱化要求が高まってきている。こうした相反する要

求に対応できる鋼材として、TMCP鋼が広く適用されてきている。最近では、微細酸化物、硫化物、窒化物、ボロンなどを利用した高HAZ大入熱対応用鋼も開発されている。

また、地震国である日本では、耐震性の観点から地震のエネルギーを鋼材の塑性変形能で吸収させる高強度低降伏比鋼の使用が、高層建築物では一般化している。低降伏比化には、軟質なフェライト分率とその粒径の制御が必要となる。高強度低降伏比鋼の製造では、圧延後の制御冷却を緩冷化する方法や冷却開始温度を A_{r3} 点以下に制御する方法などに、TMCPを活用している。

橋梁分野でも、鋼橋の合理化設計が進むに伴い、従来に比べ厚手で高強度の鋼材を使用することで主桁の数を削減する少主桁化や溶接施工の効率化要求（予熱フリー化）が高まってきている。こうした要求に対し、TMCP鋼の適用による低い溶接割れ感受性組成（PCM）で成分設計できるようになり、橋梁分野での適用が拡大している。最近では、低炭素化・合金の適正添加によるベイナイト化を図る極低炭素ベイナイト鋼⁹⁾、またオーステナイト域での強圧下加工による転位強化に加え圧延後の冷却により微細ベイナイト組織を得るオースフォームドベイナイト引張強さ500 MPa級鋼¹⁰⁾も開発されている。

4.4 ラインパイプ分野

TMCPは高強度、高靱性ラインパイプの開発・実用化に積極的に活用されるとともに、耐サワーラインパイプ用途に多用されてきた。サワー環境下での水素誘起割れ（HIC）を低減するには、HICの起点となる[S]の低減やCaによる硫化物の形態制御と共に、HIC感受性に敏感な硬化組織の低減が必要となる。TMCP化により低C、低合金の成分設計が可能となり、ひいては連続製造時、板厚中心部への[Mn]等合金偏析量の低下、さらに、厚板製造時、急速冷却による[C]の板厚中心部への拡散抑制など、TMCPは硬化組織の低減に極めて有効で、耐HIC特性の向上に必須のプロセスであり、多数の耐サワーラインパイププロジェクトで採用されてきている。

4.5 水圧鉄管分野

ペンストック分野は、陸上構造物中最も強度が高く、かつ極厚材が使用される最も典型的な分野で、これまで、熱処理法により引張強さ780 MPa鋼までが実用化されている。しかし、最近では、大出力化や経済性の観点から、更なる高強度化の要求があり、TMCP（CR-DQT）を活用した100 mm厚レベルの極厚引張強さ950 MPa級鋼が開発されている¹¹⁾。

4.6 タンク分野

タンク分野では、最近、母材と溶接継手部の双方に高い亀裂伝播停止性能（アレスト性）が要求されるケースが増えている。これらの要求には、例えば、LPGタンク（ -50°C ）では3.5%Ni鋼等が従来から適用されているが、TMCPを適用することで、従来鋼に比べ、Ni量を削減した成分（1.5%Ni）でありながら、十分なアレスト性と経済性に優れた厚板が開発・実用化されている¹²⁾。

5 今後の展望

21世紀は地球環境の世紀であると言われている。最近の地球温暖化や地球環境保護、LCA（Life Cycle Assessment）に関する世界的な議論は、この問題がいかに緊急かつ重要なテーマであるかを雄弁に物語っている。地球環境の観点から、今後は、省資源、省エネルギー、安全性、長寿命が、社会的な要請となるものと予測される。合金元素の削減、熱処理の省略が可能となるTMCPは、今後、鉄鋼産業においてますます重要な技術となる。また、鋼構造物においても上記の社会的要請に対応した特性が要求されるものと思われる。

この様なことから、TMCP鋼に対する市場要求は、一層の高強度化・高靱化に加え、構造物の安全性、耐久性の向上や、加工経済性の大幅向上に貢献できる溶接性、加工性、平坦度の向上等が中心になるものと予測される。

省エネルギー化を可能とする構造物の軽量化には、高強度・高靱化が必要であり、高張力鋼の汎用化も考えられる。地震や火災、事故に対する安全性の確保はますます重要な問題となり、高安全鋼・高破壊特性鋼が標準仕様となることも考えられる。鋼構造物の大幅な長寿命化を可能とする疲労特性や耐食性の高い鋼材等の需要も高くなると考えられる。加工経済性の要求は、ますます高くなり、超大入熱溶接が一般化し、良加工性、切断時の歪みレスも標準化されることも考えられる。

この様な多様な特性要求を実現するには、新しいTMCP技術の開発や、その他の要素技術との組み合わせを通じたTMCP鋼の新たな可能性の探索が今後とも必要である。今後、TMCPの可能性を1つ1つ現実のものとし、市場からの要求に確実に対応してゆくことで、TMCPの適用拡大が図られることを期待したい。

6 結言

本論文では、TMCPのメタラジー、ACC設備概要並びに、厚板の各需要分野における適用状況及び、その将来展望について述べた。

TMCPは、これまで、需要家の様々な要求に対応しながら、着実にその適用範囲を拡大してきた。今後のTMCP鋼に対する需要家要求は、ますます高度化、多様化されると予測されるが、その要求を実現できるのもまた、TMCPであると確信している。

今後もTMCPの新たな可能性を切り開き、需要家要求に確実に応えてゆくことを通じて、社会に貢献してゆくことが我々の責務であると考えている。

参考文献

- 1) Kiyoshi Nishioka, et al : Market Requirement of Thermomechanically Processed Steel for 21th Century, Proc. of TMCP International Conference, London, (2000)
- 2) 大内千秋ほか：塑性と加工, 40 (1999) 467, 1135.
- 3) 東田幸四郎ほか：日本鋼管技報, (1981) 86, 1.
- 4) Yoichi Tanaka, et al : Advance and Progress of TMCP Technology and its Application, 68th Fall Refining Meeting of API, Denver, (2003)
- 5) 鉄鋼便覧, 第3巻 (1), 6.6.3加速冷却
- 6) 大江憲一ほか：加速冷却型鋼板の条切断における横曲がり量のオンライン予測システム, R & D 神戸製鋼技法, 41 (1991) 4, 52.
- 7) 鈴木伸一ほか：まてりあ, 43 (2003) 3, 232.
- 8) 谷 徳孝ほか：残留応力制御型TMCP鋼板の開発と有効性検証, R & D 神戸製鋼技報, 52 (2002) 1, 6.
- 9) 津光浩ほか：川崎製鉄技報, 30 (1998) 3, 131.
- 10) 藤原知哉ほか：まてりあ, 39 (2000) 3, 273.
- 11) 岡口秀治ほか：まてりあ, 37 (1998) 6, 534.
- 12) K. Bessho, et al : Proceedings of the 7th. International Conference on Pressure Vessel Technology, (1992), 860.

(2004年5月13日受付)