

討19 オンライン強制水冷却による新厚板製造法の開発

(株)神戸製鋼所 中央研究所 大友朗紀 (工博)高塚公郎
加古川製鉄所 高橋出雲男 秋山憲昭 大番屋嘉一

1. 緒言

近年、高張力化とともに溶接性に優れた厚鋼板の必要性が増々強くなり、制御圧延と圧延直後の強制水冷却を組合せたオンライン熱処理による厚鋼板製造法が研究され、その冶金学的意義や材質向上効果はほぼ明らかにされてきた¹⁾²⁾。また、実用化研究も積極的に行なわれている^{3)~5)}。当社加古川製鉄所厚板工場においては、材質向上効果のメリットを十分活用するため、制御冷却から一部直接焼入れまで可能なオンライン強制水冷却設備(以下、KCL(KONTROOL)設備と略す)を'83年4月に建設し、本設備を駆使した新厚板製造法を開発した。本報では、基礎実験、工場実験および熱変形解析を行ない、KCL設備実用化にあたり重要なポイントである鋼板均一冷却制御技術に関して検討した結果を報告する。また、操業実績についても報告する。

2. KCL設備

2.1 基本的な考え方

本設備を建設するにあたり、

- 1) 精度の高い温度制御と歪を発生しない冷却が実現できること、
- 2) 将来の高品質化に対応する広範囲の鋼種に適用可能なこと、
- 3) メンテナンスが容易でコンパクトな設備とすること。

等に留意した。特に実用化にあたり、1)は重点課題であるため、Fig.1に示すように、KCL設備を各影響因子の中に位置づけ、周辺技術管理を強化した。

2.2 主な特徴

設備仕様をTable 1に示す。冷却能力は造船用鋼板を主対象とする制御冷却から調質型高張力鋼板を対象とする直接焼入れまで、広い範囲にわたっている。ノズルタイプとしては、上部に逆U字パイプノズルを、下部に噴射方向を斜方としたスプレーノズル(斜方ノズル)を採用している。ヘッダは、Fig.2に示すように上下部とも強冷却用と弱冷却用の2重構造とし、設備のコンパクト化を図るとともに省エネ型

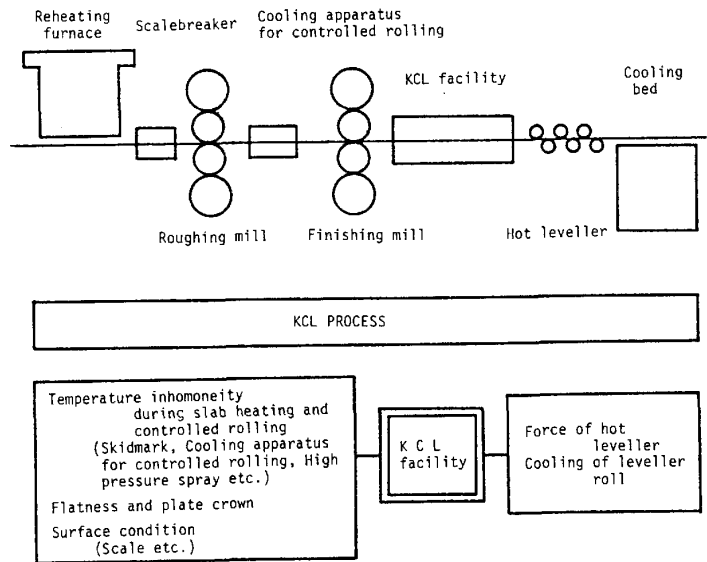


Fig.1 Control items for flatness in KCL process.

Table 1 Specification of KCL facility.

Item	Specification
Dimension	4.7 m x 39.1 m
Applicable Plate	12-100 x 4,650 x 38,000 mm
Amount of Water	195 Ton/min.
Pressure of Water	7 atm
Cooling Method	Simultaneous or Continuous Cooling Type Top : Pipe Laminar or Jet Bottom : Spray
Number of Cooling Banks	5 3 banks consist of light cooling zones. 2 banks consist of both heavy and light cooling zones.

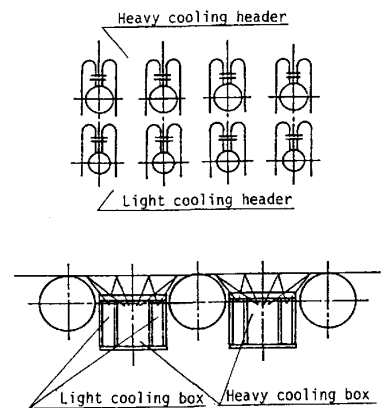


Fig.2 Double header method.

としている。そして、材質制御、鋼板温度制御、鋼板冷却歪防止制御等の各モデルを組み込んだプロセスコンピュータにより、完全自動運転されている。

3. KCL冷却制御技術

KCL冷却制御技術は

- 1) 鋼板内で、上下面および板面内での均一冷却を可能とする制御技術。
- 2) 各鋼板ごとに、所定の冷却開始温度、冷却停止温度および冷却速度を可能とする制御技術。

より構成される。本章では、特に1)の均一冷却技術について検討した結果を述べる。

3.1 鋼板上下面均一冷却制御

冷却過程における鋼板形状を良好に保つために、鋼板上下面の温度制御が重要である。上下面のノズルタイプが異なることや上面には滞留水が存在すること等のため、上下面に同一の冷却能力を与える必要冷却水量は異なる。Fig. 3に上下水量比(下面水量/上面水量)と冷却後の鋼板反り量の関係を、また、Fig. 4に上下水量比の許容範囲に及ぼす冷却水量の関係を示す。以上の結果を基本とし、冷却開始温度、冷却停止温度、板厚、板幅を考慮した上下水量比設定モデルを開発した。

3.2 鋼板の熱変形解析

冷却過程の単純反りは3.1節の上下面水量制御により解決できるが、矯正時以後に存在する板面内温度不均一も鋼板に座屈を生じさせるため、これを解決する必要がある。

ここでは、モデル化した単純な板内温度不均一の存在 (

Fig. 5(a))と鋼板変形との関係を3次元熱変形解析にて求めた。結果をFig. 5(b)に示す。鋼板幅方向の温度制御は長手方向のそれと比べて重要である。

3.3 鋼板幅方向温度分布制御

上部冷却水は鋼板上面に滞留水層を形成し、板幅方向へ流出する。Fig. 6に滞留水層厚と流出速度を示す。冷却水量の増加は、滞留水層厚の増加とともに流出速度の増加も招く。この滞留水は、それ自身、冷却能力を有し、さらに、上部冷却水衝突点での冷却能力

を減少させるなど、幅方向均一冷却に影響する。この滞留水による冷却効果の不均一を打ち消すために、幅方向中央部に多く、側端部に少なくなるような変化を冷却水量につける必要がある。この滞留水の影響は冷却水量により異なり、Fig. 7に示すように、水量分布の適正值は冷却水量により変化する。KCL

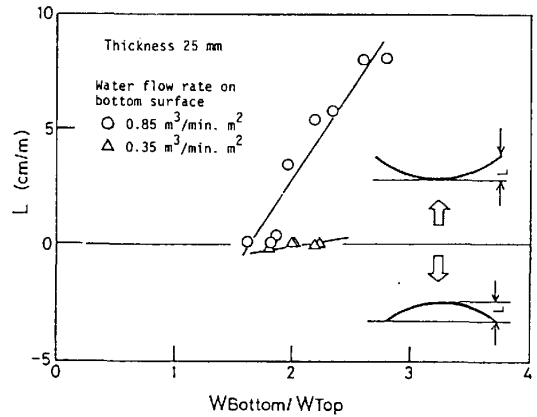


Fig.3 Relation between ratio of water flow and deflection.

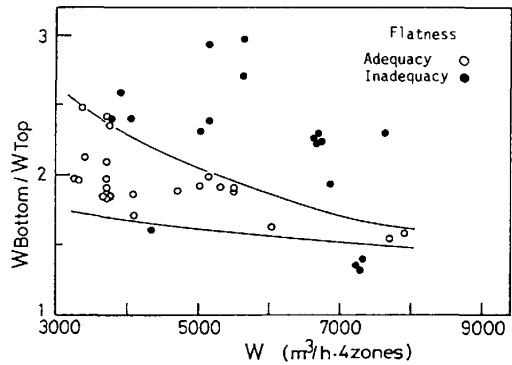


Fig.4 Relation between W_{Bottom}/W_{Top} and water flow for flatness of plates after KCL.

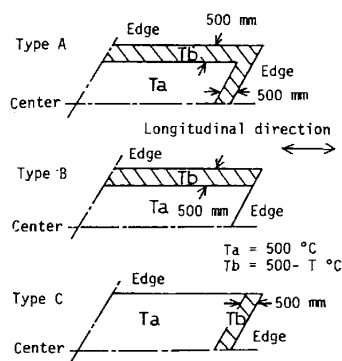


Fig.5(a) Patterns of temperature distribution after hot levelling.

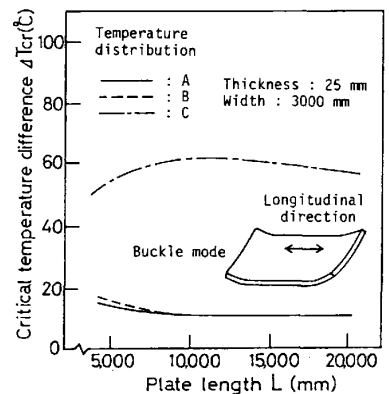


Fig.5(b) Effect of plate length on critical temperature difference for occurrence of buckling.

設備では、冷却水量の適用範囲を考慮し、冷却水量分布を固定したものと決めていた。したがって、冷却水量変化に伴う幅方向温度不均一が生じ、鋼板平坦度を損う可能性があるが、熱変形解析の知見を基に、鋼板側端部温度制御を実施し、この問題点を解決した。

3.4 鋼板側端部温度制御

側端部の温度低下の一原因である下部スプレー冷却水の鋼板上部への飛散を、斜方ノズルの採用で解決した。しかし、側端部では、圧延過程の冷却や3.3節で述べた滞留水によって温度が低下し、鋼板全体では、座屈臨界を越える温度差が生じる。このため、KCL冷却技術では、上部冷却水を側端部において一部遮へいする方法を用いている。Fig.8に基礎実験により得た遮へい効果を示す。前記側

端部の温度低下を補正するための遮へい率は約40%である。

Fig.9に、遮へい率40%として工場実験より求めた遮へい量と温度偏差(側端部温度-中央部温度)の関係を示す。遮へい量の増加に伴い、側端部の温度低下は防止され、本例では、遮へい量の適正值は80~100mmである。そして、水量、板幅などの影響を取り入れたマスキング設定モデルを開発した。このモデルでは、水量が多くなれば遮へい量は少なくなり、直接焼入れの場合には不用となる。

3.5 鋼板先後端温度制御

鋼板先後端においても、3.3節および3.4節の幅方向冷却と同様の現象が生じる。しかし、3.2節で述べたように、変形に対する長手方向座屈臨界温度差は大きいため、先後端温度制御法として時間差冷却法のみを用いている。

4. KCLの操業実績

4.1 材質制御

KCL設備は造船用鋼板を主体とする制御冷却で良好な結果⁶⁾を得ている。Fig.10に造船YP82キロA級鋼板の製造実績を示す。機械的性質は従来製造法にそんじょくのない結果となっている。また、Table 2に直接焼入れ型調質HT60鋼板の工場試作結果を示す。低C_{eg}で所定の材質結果を得ている。

4.2 冷却歪制御

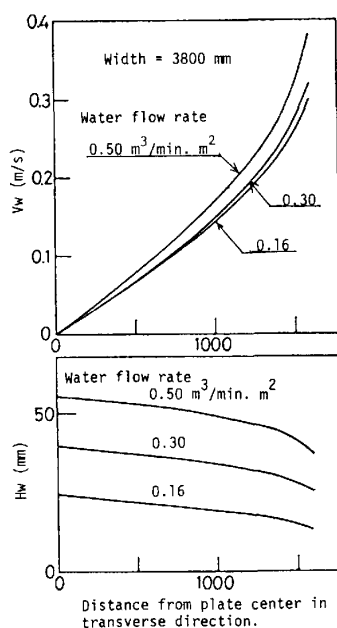


Fig.6 Effect of water flow rate both on transverse velocity and thickness of water existing on plate.

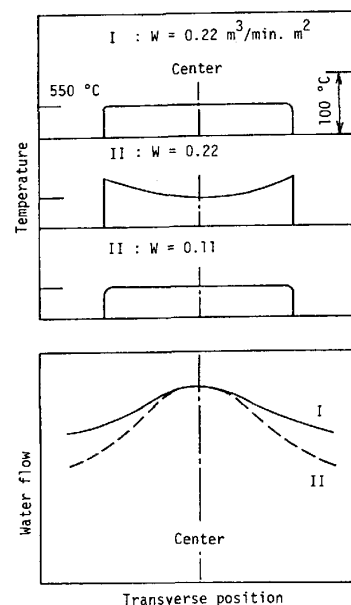


Fig.7 Effect of water flow in transverse direction and water flow rate on temperature.

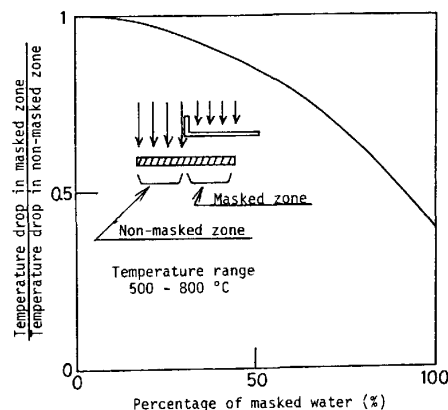


Fig.8 Relation between percentage of masked water and temperature drop.

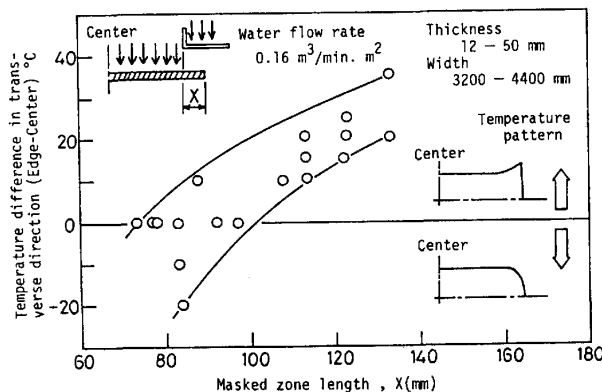


Fig.9 Relation between masked zone length and temperature difference.

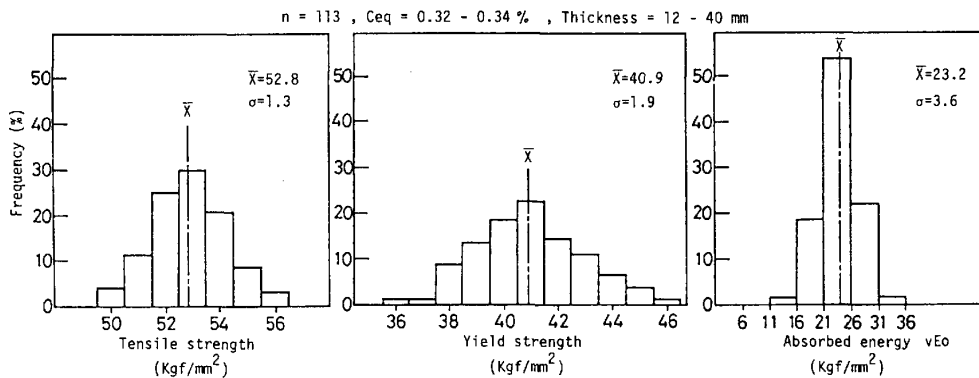


Fig.10 Mechanical properties of mass-produced KCL plates.

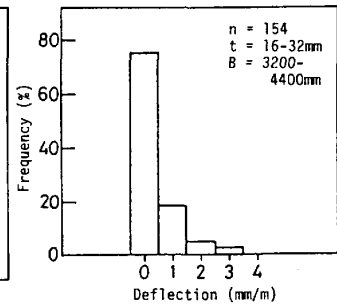


Fig.11 Flatness of mass-produced KCL plates.

Fig.11に制御冷却鋼板の平坦度を示す。大板で任意の長さ1000mmについての最大反り量は3mm以下である。

Table 2 Chemical compositions and mechanical properties of KCL-treated HT60 steel plate.

Size (mm)	Chemical composition (%)					Mechanical properties		
	C	Si	Mn	V	Ceq	0.2% YS	TS	vTrs (T-direction)
30 x 3,200 x 10,000	0.13	0.35	1.23	0.034	0.35	56Kgf/mm ²	65Kgf/mm ²	-60 C°

4.3 鋼板条切り時の横曲り

鋼板条切り時の横曲りはガス切断の条件によっても強く影響を受けるが、強制水冷却後に生じている幅方向温度不均一もその発生原因となる。横曲り量δと温度不均一ΔTは次式で近似される。

$$\Delta T / B = 8 \cdot \delta / \alpha \cdot L^2 \quad (1)$$

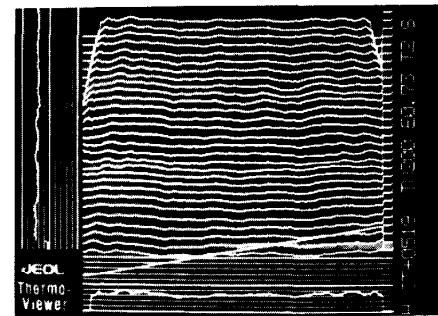
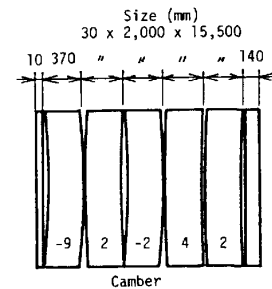
ここで、B；条切り幅、α；線膨張係数、L；鋼板長さである。空冷材と同等以上の品質を得るためには、 $\Delta T / B \approx 25 \text{ }^\circ\text{C/m}$ と厳しい条件となる。したがって、このような用途の鋼板に対しては、冷却のみならず、加熱・圧延工程も含めた十分な温度管理を行なっている。Fig.12に条切り結果の一例を示す。最大横曲りの発生した鋼板端部においても、横曲り量は9mm/15.5mと良好な結果である。

5. 結言

KCLプロセスの冷却歪制御の概要を紹介した。造船用鋼板の製造により、新技術の量産性および製品特性の優位性が確認された。今後、新プロセスを、より広範な用途の製品に適用すべく、品質・製造管理・設備等の全ての面で、開発・改良に力をつくす考えである。

参考文献

- 1) 町田, 川田ら; 鉄と鋼, 68(1982), A223
- 2) 高田, 芦田ら; R & D / 神戸製鋼技報, 33 No.4 (1983) P28
- 3) 東田, 大北ら; 日本鋼管技報, 89(1981) P1
- 4) 尾上, 梅野ら; 製鉄研究, 309(1982) P18
- 5) 平井, 江端ら; 鉄と鋼, '84 - S373
- 6) 梶, 高嶋ら; R & D / 神戸製鋼技報, 33 No.4 (1983) P4



Temperature pattern after KCL.

KCL conditions :
Starting temperature 780°C
Finishing temperature 540°C
Average water flow 0.23 m³/min. m²

Fig.12 Camber after gas-cutting in the longitudinal direction.