

New Type Stelmor Equipment of Wire Rod and Bar Mill at Mizushima Works



花田 義幸
Yoshiyuki Hanada
水島製鉄所 設備部設計室 主査(掛長)



上野 清博
Kiyohiro Ueno
水島製鉄所 設備部設計室 主査(掛長)



野田 昭雄
Akio Noda
水島製鉄所 条鋼圧延部線材棒鋼課 課長



金堂 秀範
Hidenori Kondoh
水島製鉄所 条鋼圧延部線材棒鋼課 掛長



坂本 俊夫
Toshio Sakamoto
水島製鉄所 条鋼圧延部条鋼技術室



峰 公雄
Kimio Mine
鉄鋼研究所 水島研究部第4研究室 主任研究員(課長)

1 はじめに

水島製鉄所では、線材の品質向上、歩留り向上、コストダウンをめざして、棒鋼工場に隣接する新設ヤードに、棒鋼ミルを線材用粗ミル、中間ミルとして使った新線材工場を建設し、昭和59年9月から操業を開始した。

この線材製造設備の中のステルモア装置は、線材品質を決める上で、非常に重要なものであり、レーシングヘッドで巻き取られたリング状線材を材質に応じた冷却速度で、かつ、均一に冷却する機能が要求される。これを達成することにより、強度のばらつきの少ない線材を得ることができる。

このリング状線材は、そのセンターとエッジでは重なり具合が異なるため、均一に冷却するためには、風速分布を変える必要がある。このため、風速および風向を、線材のサイズと材質に応じてコントロールできる新しい形式のステルモア装置を開発した。

本報では、この開発のための基本実験および実物相当のシミュレーターによる確性実験の結果、ならびに実機適用結果について述べ

要旨

水島製鉄所の線材棒鋼工場のステルモア装置の導入にあたって、コンベア上のリング状線材の均一冷却特性を向上させるための検討を行った。基本実験から、冷却速度は風速分布から求められること、最適風速分布が存在することなどがわかった。また、シミュレーターによる実験から、ダンパーとデフレクターの特性が明らかになり、均一冷却および要求品質に応じた制御が可能なノズルおよびブロー仕様の決定ができた。これらの新機能を付加した新ステルモア装置はダンパーとデフレクターの操作がプロコンと DDC につながって線材品質により設定できること、徐冷のための断熱カバーを有するなどの特徴をもつ。本装置により、線材の引張り強さのばらつきを 1.6 kgf/mm^2 から 0.9 kgf/mm^2 に低減できた。

Synopsis:

When the Stelmor equipment was introduced to the new wire rod and bar mill at Mizushima Works, examination was made for improving the uniform cooling characteristics of the ring-shaped pile of wire rods on the conveyor. From the basic test, it was found that the cooling rate was able to be obtained from the wind velocity distribution, and an optimum wind velocity distribution existed. Also from the test using a simulator, characteristics of the damper and deflector were clarified, and it has become possible to determine the specifications of the nozzle and blower, which can be controlled depending upon requirements for uniform cooling and product quality. The Stelmor unit to which the above-mentioned new functions have been added has features that damper and deflector operations are connected to the process computer and DDC and can be set according to the required quality of wire rods. Through the use of this improved Stelmor equipment, the dispersion in tensile strength of wire rods has been reduced from 1.6 to 0.9 kgf/mm².

る。

2 ステルモア処理装置の特徴と問題点

ステルモア装置は、Fig. 1 に示すごとく、仕上げ圧延機出側の水冷ゾーンを通り、レーシングヘッドで巻き取られたリング状線材を材質に応じた冷却速度で、かつ、均一に冷却する機能が必要¹⁾である。

このリング状線材は、Fig. 2 に示すごとく、パス直角方向の単位長さ当たりの重量が異なり、均一冷却するためにはセンターとエッジの風速分布を変える必要²⁾がある。本計画では、Fig. 3 に示すごとく、センターとエッジの風速および風向を線材のサイズと材質に応じてコントロールできる新ステルモア装置を採用した。

* 昭和60年11月13日原稿受付

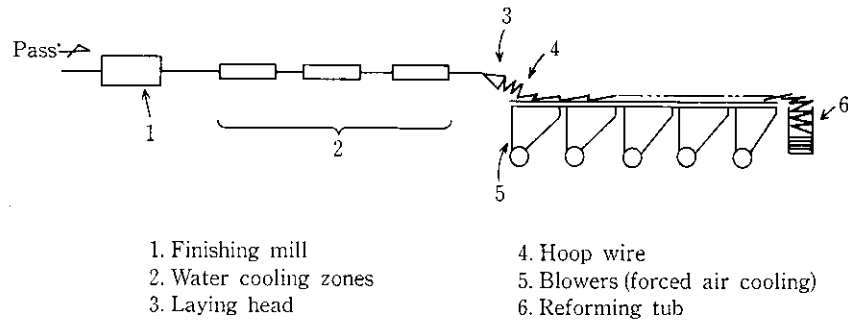


Fig. 1 Equipment of Stelmor line

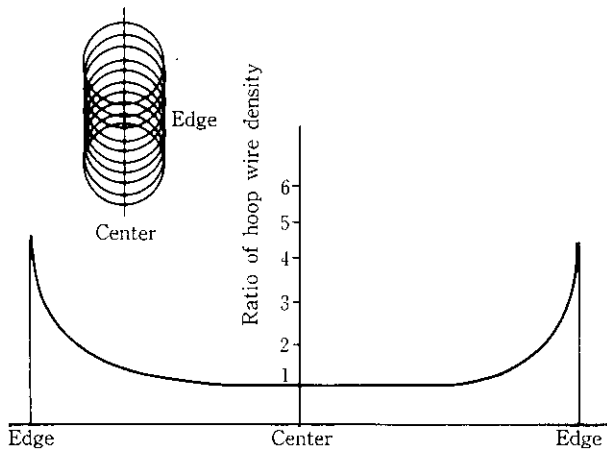


Fig. 2 Change in hoop wire density in the edge direction

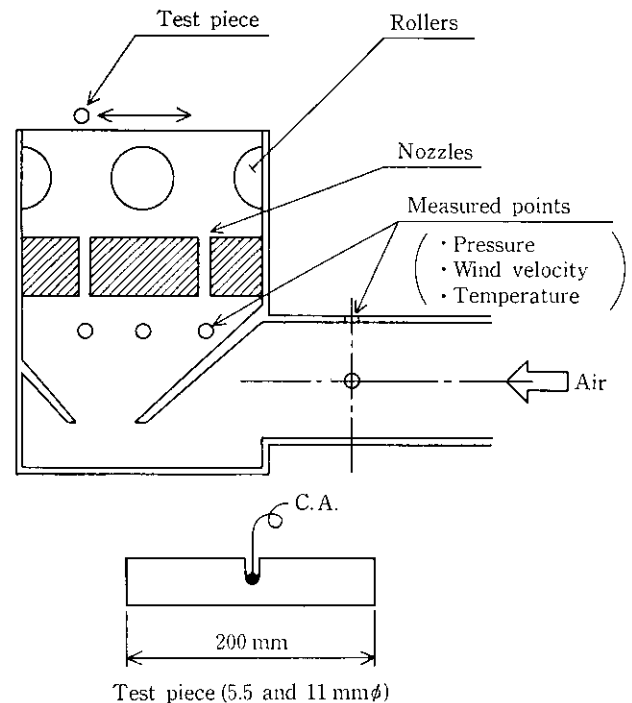


Fig. 4 Experimental apparatus for air cooling

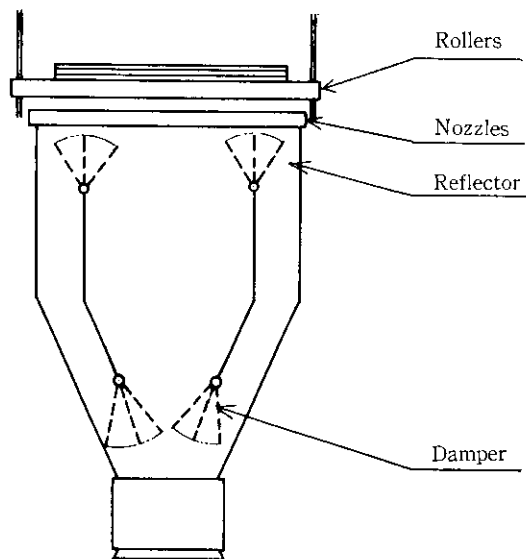


Fig. 3 New type Stelmor conveyor

この特徴は次のとおりである。

- (1) ダンパーにより、センター、エッジのチャンパー圧を変えることにより、風速分布を変えることができる。
- (2) デフレクターにより、エッジ部の風向を変えることができる。これにより、線材のサイズと材質に応じた冷却コントロールが可能となる。

しかし、この装置は従来のノズル面積（固定）によりセンターとエッジの冷却能力を変えているものとは異なり、その操作方法、風

速分布変化による材質変化などに不明な点が多く、リング状線材の均一冷却条件の把握から調査する必要がある。以下に、上記の諸問題を解決するための調査項目を記す。

- (1) 風速およびその分布と冷却速度との関係
- (2) センターおよびエッジのリング重なりに応じた最適風速分布
- (3) ダンパー特性
- (4) デフレクター特性

3 基本実験結果

基本実験は Fig. 4 に示す装置と長さ 200 mm、直径 5.5 mmφ (SWRH 62B) および 11 mmφ (S45C) のテストピースを用い、衝風冷却での基本特性調査およびノズル仕様決定のための基礎調査を行った。

3.1 実験方法

本実験装置にて、単線冷却の理論値との一致を確認するため、上記テストピースを約 900°C に加熱し、冷却を行った。また、実機の材料搬送時での冷却速度推定を確認するため、風速分布のある状態で、テストピースを移動させて冷却した。

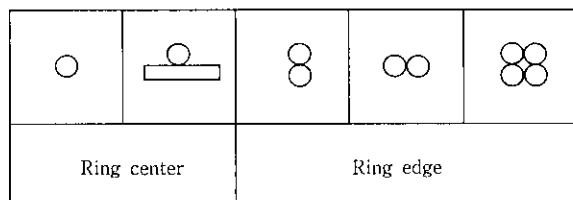


Fig. 5 Test pieces

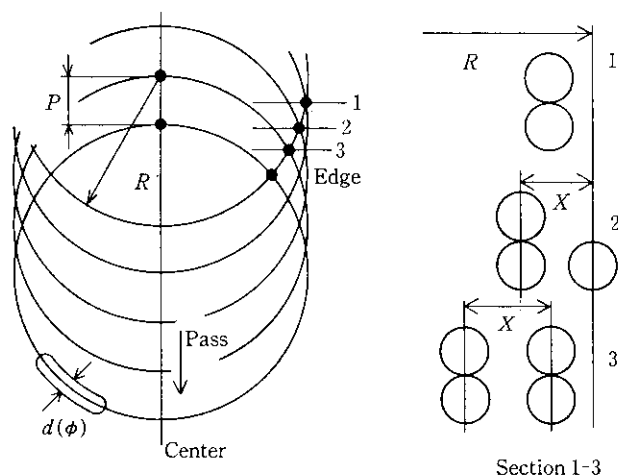


Fig. 6 Model of ring edge

さらに、実機のリング状線材の重なり部を想定し、上記テストピースを複線とした場合の冷却特性を調査した (Fig. 5)。ここで、エッジ部の重なり本数は Fig. 6 に示すごとく搬送方向で異なるため、リング交点 (1, 2, 3, ...) に着目し、寸法 X が線材サイズ d 以内となる条件で、その平均的な重なり本数を求め、リングピッチ $P=30\sim 120$ mm の範囲では 2~4 本となった。

なお、実機での $P=47$ mm と $P=120$ mm の場合のエッジ部のリングの重なり具合を Photo 1 に示す。

また、ノズル仕様決定のための基礎データを得るため、ノズル幅は 7, 14, 20, 25 mm の 4 水準をとり、また、材料搬送方向でのノズル位置はローラー間とローラー下の 2 水準をとった (Fig. 7)。

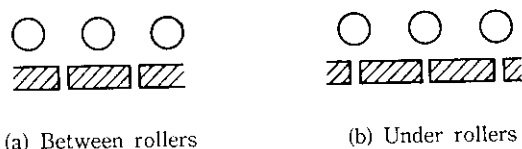


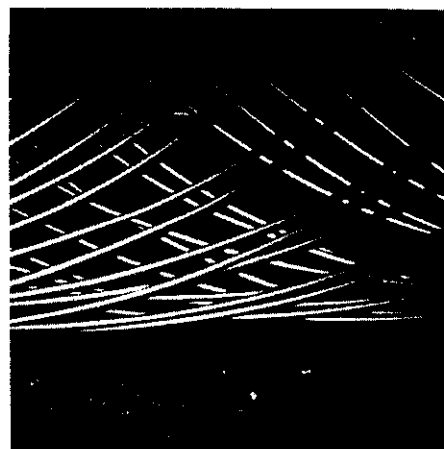
Fig. 7 Position of nozzles

3.2 実験結果

基本実験結果をまとめると以下のとおりである。

- (1) Fig. 8 に単線の場合、理論³⁾をもとに計算した冷却速度と実際の冷却速度との比較を示すが、放射率 0.7 として良く一致した。
- (2) 風速分布による単線冷却速度は Table 1 に示すように風速を位置積分したものと一致することが確認できた。これにより、実機の風速分布からリング状線材の単線部の冷却速度を推定できる。
- (3) リング状線材の重なり部の冷却速度は Fig. 9 に示すごとく

(a)
5.5 mm ϕ
 $P=47$ mmAq



(b)
11 mm ϕ
 $P=120$ mmAq



Photo 1 Examples of wire overlapping at ring edge

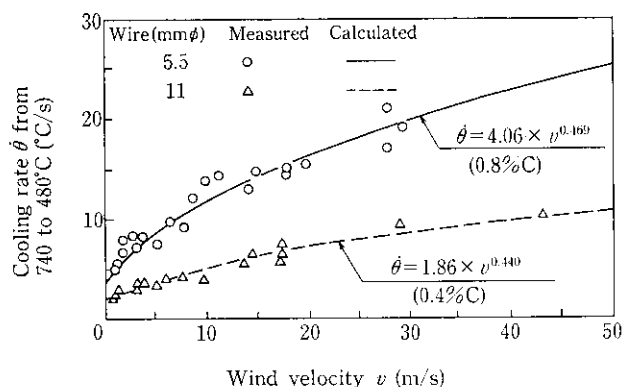


Fig. 8 Comparison of measured and calculated cooling rates

Table 1 Comparison of the cooling rate calculated from wind velocity distribution with the cooling rate measured

Pressure (mmAq)	Cooling rate (°C/S)	
	Measured, θ	Calculated, θ_0
20	10.5	9.3
90	14.3	14.6
150	16.6	16.7

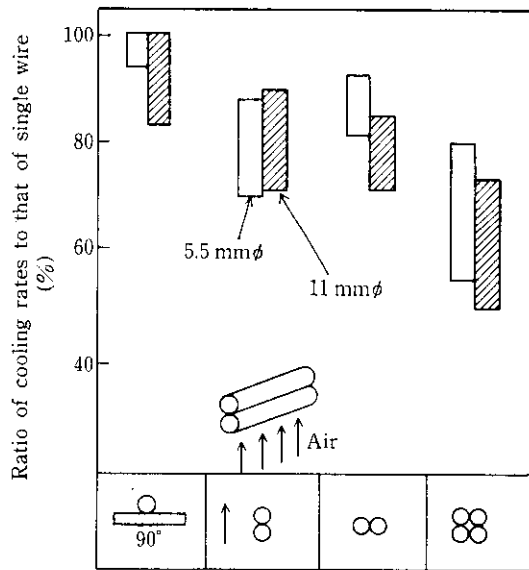


Fig. 9 Effect of the wire overlapping on cooling rate

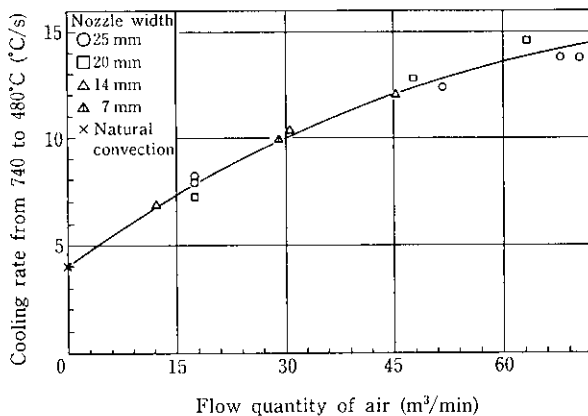


Fig. 10 Influence of nozzle width on the cooling rate of 5.5 mmφ wire calculated from the wind velocity distribution

単線の場合と比べ低下し、エッジ部を想定した2本重ねは約80%、4本重ねは約65%になる。しかし、サイズによる差は少ない。

(4) また、ノズル幅を変えて、冷却速度を測定した結果は、Fig. 10に示すごとく、冷却速度はノズル幅にかかわらず、一義的に流量に依存していることが確認できた。したがって、流量を基本として、ブロー能力および制御方法により冷却速度を決定することができる。

(5) ノズル位置については、ローラー間とローラー下とでは、Table 2に示すように、冷却速度はほぼ同等である。しかし、風速分布はFig. 11に示すように、ローラー下の方が安定した風速分布が得られる。このことから、ローラー下にノズルを設置する方が均一冷却の点から望ましい。

以上の実験結果をもとに、リングのセンター部(単線)に対するエッジ部の風速比率を計算した結果、Fig. 12に示すごとく、1.7~2.5程度となり、この範囲にステルモア風速分布の最適値が存在するものと推察された⁴⁾。

また、ノズルについては、ローラー下にノズル配置するのが、安定冷却の上では良く、ノズル幅は、実機の必要冷却能およびブロー能力、制御方法により決定できる見通しが得られた。

Table 2 Influence of the nozzle location on the cooling rate of wire (nozzle width 25 mm)

Nozzle location: Static pressure (mmAq)	(°C/s)	
	Between Rollers	Under Rollers
15	8.2	7.9
150	13.8	13.8

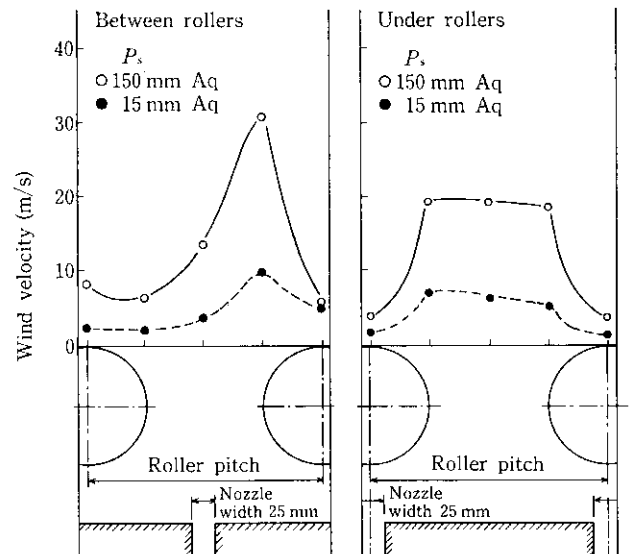


Fig. 11 Wind velocity distributions at the nozzle between rollers and the nozzle under rollers

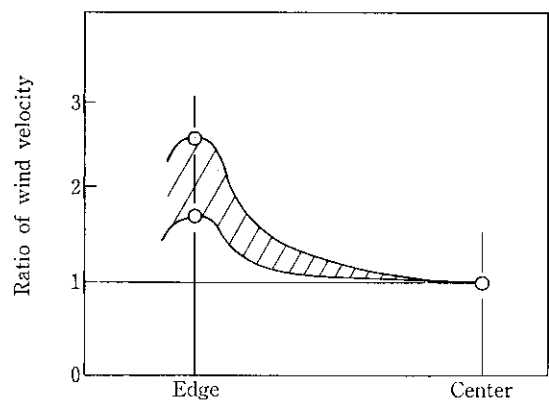


Fig. 12 Optimum range of wind velocity at ring edge

4 シミュレーターによる実験と考察

基本実験により、最適風速分布の範囲と、ノズル設計の見通しが得られたが、実物相当のリング状線材での確実実験が必要であり、ダンパー、デフレクターの特性も明らかにしておく必要がある。

このため、Fig. 13に示すごとく、実機に対し幅方向1/1、搬送方向1/3のシミュレーターを製作し、実験を行った。

4.1 実験方法

冷却速度は風速分布より推定できることが基本実験より明らかとなったので、ダンパーとデフレクターの特性は風速分布により調査

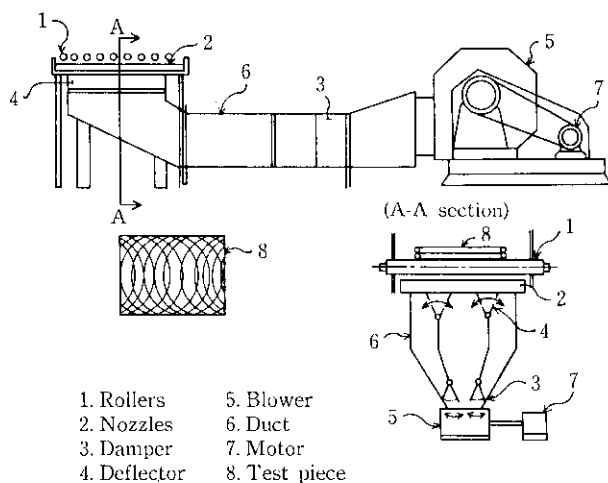


Fig. 13 Simulator of the new type Stelmor line

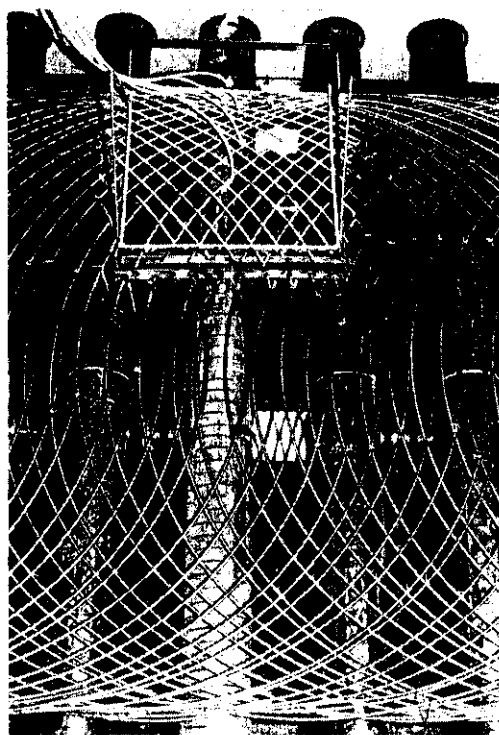


Photo 2 Test piece at ring edge

した。また、加熱と冷却は、Fig. 13 に示すテストピースのセンターとエッジ部の代表部分を切りぬき、それをはめ込み式として実験した (Photo 2)。また、引張試験も一部実施した。

4.2 実験結果と考察

得られた結果は以下のとおりである。

- (1) 風速測定値から冷却速度を基本実験で求めた (1) 式より推定した結果は、リング状線材の実測値とよく一致する (Fig. 14)。

$$\dot{\theta} = a \times 4.06 \times v^{0.469} \dots\dots\dots (1)$$

$\dot{\theta}$: 5.5 mmφ の 740—480°C の冷却速度 (°C/s)

v : 風 速 (m/s)

a : 重なり係数 センター 1.0~0.8
 エッジ 1.0~0.65 } Fig. 9 参照

これは、リング状線材の冷却が特殊なものでなく、一般の強

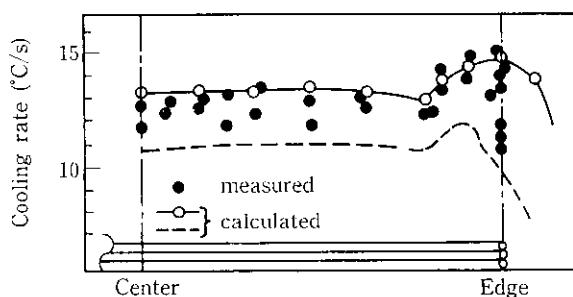


Fig. 14 Cooling rate at the simulator (measured and calculated)

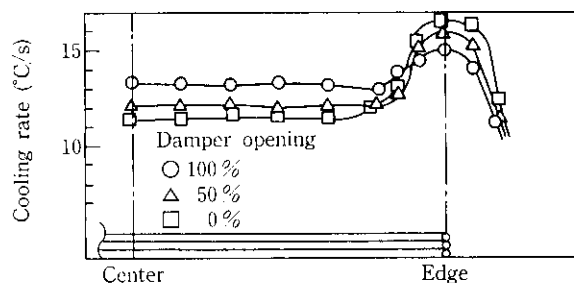


Fig. 15 Influence of damper opening on cooling rate

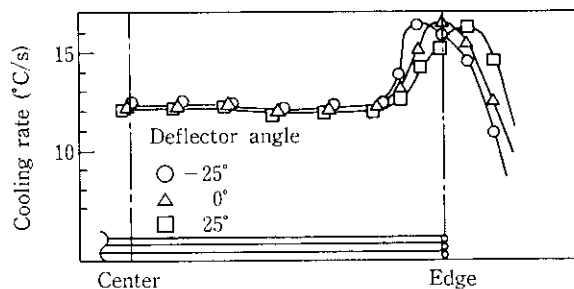


Fig. 16 Influence of deflector angle on cooling rate

制対流理論で説明できることを意味する。

- (2) ダンパーの冷却速度におよぼす影響を Fig. 15 に示すが、ダンパー開度 100% (エッジ側は閉の状態) では、エッジ部の冷却速度が低下し、逆に、ダンパー開度 0% (センター側は閉の状態) では、エッジ部の冷却速度が上昇しており、センターとエッジの冷却速度比を広範囲に制御できることがわかる。

これにより、リング状線材の重なりに応じて、任意に最適風速分布を設定でき、均一な線材を容易に得ることができる。

- (3) デフレクターの風向におよぼす影響を Fig. 16 に示すが、その向きを変えることにより、風速分布の最大位置を、幅方向に制御できることがわかる。

これにより、リング径補償はもとより、上記のダンパー制御と組み合わせることにより、センターとエッジ部の境界位置も制御でき、均一な線材を得ることに、十分な効果が期待できる⁵⁾。

- (4) また、ダンパーおよびデフレクターを相互に動かした場合のダクト内の圧力分布の一例を Fig. 17 に示すが、センターとエッジのダクト間すき間、ダンパー開度、デフレクター開度、ノズル面積などを考慮することにより計算できる。

ここで、Fig. 18 のモデルにおいて、センターとエッジのダ

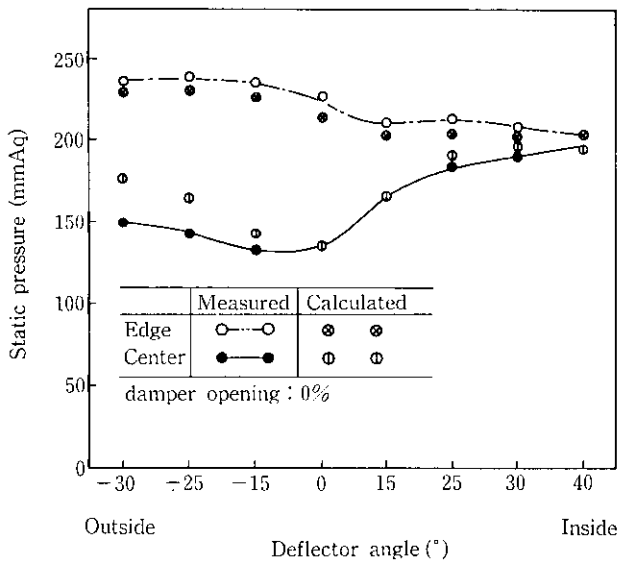


Fig. 17 Static pressure characteristics of the damper

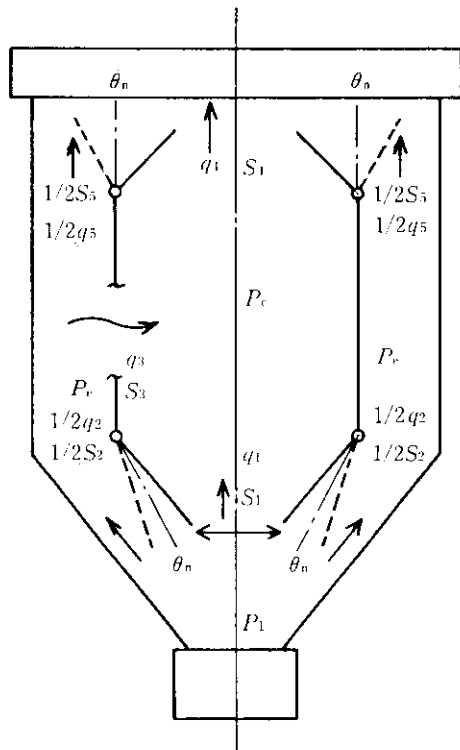


Fig. 18 Model of damper and deflector

クト内圧力が中立するダンパー角度を θ_n とし、ダンパーを θ_n より内側に設定した場合、

$$P_e = P_1$$

$$q_1 = C_1 S_1 \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_e)}{\gamma}}$$

$$q_3 = C_3 S_3 \sqrt{\frac{2g(P_e - P_6)}{\gamma}}$$

$$q_4 = q_1 + q_3$$

$P_e, P_6, P_1 \sim P_5$: 圧力

$C_1 \sim C_5$: 流量係数

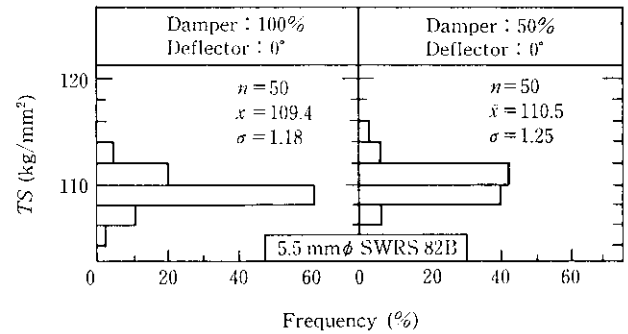


Fig. 19 Tensile strength at the simulator

$S_1 \sim S_5$: 流路面積

$q_1 \sim q_5$: 流量

g : 重力加速度

γ : 比重

より、センターダクト内圧力 P_e は、

$$P_e = P_1 / \left[1 + \left(\frac{C_4 S_4}{C_1 S_1 + C_3 S_3} \right)^2 \right] \quad (2)$$

で求められる。

ダンパーを θ_n より外側に設定した場合、エッジダクト内圧力 P_e は同様に

$$P_e = P_1 / \left[1 + \left(\frac{C_5 S_5}{C_2 S_2 + C_4 S_4} \right)^2 \right] \quad (3)$$

で求められる。

これにより、ノズル流速は計算にて求めることができ、風速分布も推定できることから、リング状線材の均一冷却に適したダンパー、デフレクターの設定が可能となった。

(5) 実験に使用した試材の引張試験値を Fig. 19 に示すが、材質の均一性を保証する場合と、下限値を保証する場合の制御例である。

以下、シミュレーターによる実験結果および考察から、ダンパー、デフレクターの特性は明らかになり、それらを制御することにより、均一な材質はもとより、要求品質に応じた線材を製造することが可能であることが判明した。

5 実機設計

新ステルモア装置の実機設計では、前記、基本実験およびシミュレーターによる実験の結果をもとに、ノズル仕様、ブロー仕様および制御条件を決定した。

Photo 3 に実機のステルモア装置を示すが、実験での予想通りの冷却特性が得られた。

なお、本装置の主仕様を Table 3 に示すが、このほかに、

Table 3 Specifications of the new Stelmor line

Type	Roller conveyor × 8 zones
Blower	250 mmAq × 1 100 m³/min × 11
Control	AC-VVVF
Maker	SHI-Morgan
Unit	1



Photo 3 Appearance of the new Stelmor conveyor

- (1) ダンパーとデフレクターは、プロコンおよび DDC にて、線材の品質要求に応じて設定できる。
 - (2) また、徐冷材の製造に対処するため、断熱カバーを設置している。
- などの特徴を有す。

6 圧延結果

以上の実験結果から、実機設計を行い、昭和 59 年 8 月初めから、実機での確性実験を開始した。

強度ばらつきの少ない線材は、予想どおり、当初から得られ、その確性実験は非常にスムーズに終わり、約 1 箇月後の 9 月から営業運転にはいった⁶⁾。

旧線材圧延および新線材圧延での材料試験結果を Fig. 20 に示すが、1 リング中の引張り強さのばらつきは、約 1.6 kg/mm^2 から約 0.9 kg/mm^2 に低減しており、新ステルモ装置の効果は大きいと言える。

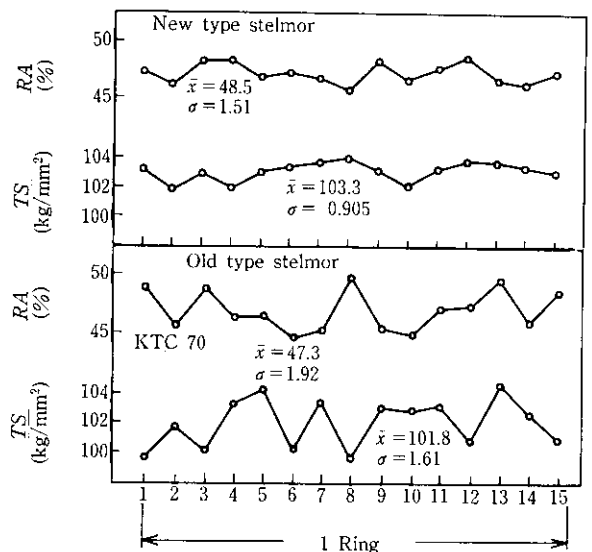
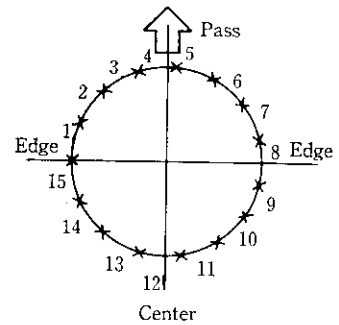


Fig. 20 Tensile strength and reduction of area of the wires produced by new type and old type Stelmor

7 結 言

以上、線材棒鋼工場のステルモ装置の導入にあたって、リング状線材の均一冷却特性を向上させるための検討を行った。基本実験から、冷却速度は風速分布から求められること、最適風速分布が存在することなどがわかった。また、シミュレーターによる実験から、ダンパーとデフレクターの特性が明らかになり、均一冷却および要求品質に応じた制御が可能なノズルおよびブロー仕様の決定ができた。

これらの新機能を付加した新ステルモ装置はダンパーとデフレクターの操作がプロコンと DDC につながって、線材品質により設定できること、徐冷のための断熱カバーを有するなどの特徴をもつ。本装置により、線材の引張り強さのばらつきを 1.6 kgf/mm^2 から 0.9 kgf/mm^2 に低減できた。

今後は、ダンパーとデフレクターを有効に使い、あらゆる要求品質に応じた線材の製造を試みたい。

参 考 文 献

- 1) 鉄鋼協会編:「鉄鋼製造法」, 加工, (1974), P. 456
- 2) 例えば, 寒河江裕, 三瓶哲也, 手塚勝人, 俵 正人: 鉄と鋼, 70 (1984) 13, S1164
- 3) 例えば, 藤本武助, 佐藤 俊ら: 伝熱工学, (1972), [共立出版]
- 4) 花田義幸, 上野清博, 野田昭雄, 金堂秀範, 坂本俊雄: 鉄と鋼, 71 (1985), S1131 No. 12
- 5) 野田昭雄, 金堂秀範, 坂本俊雄, 花田義幸, 上野清博, 峰 公雄: 鉄と鋼, 71 (1985), S1132 No. 12
- 6) 野田昭雄, 青山和雄, 金堂秀範, 井野清治, 小西幸一, 本田信之: 鉄と鋼, 71 (1985), S1130 No. 12