帯熱延ラインにおけるオンライン再加熱装置の開発

大橋秀之*, 福井健展*, 谷田沢 純*

The Development of the Reheating Equipment in the Hot Strip Line

Hideyuki Ohashi, Takenobu Fukui and Jun Yatazawa

Synopsis

In Shibukawa Plant, Daido Steel, many grades of the hot strip are rolled, like tool steels, stainless steels, the materials for electronic industry, and so on.

In recent years, demands of the higher grade strip material like superalloys, permalloys and welding materials are increasing. In these materials which are difficult to roll, the edges of rolled materials are prone to crack. This cracking is caused by the temperature drop between the roughing stand and the finishing train.

Shibukawa Plant developed the reheating equipment in the hot strip line. The characteristic of this equipment is that the Ceramic Surface Burner (C.F.B) with high heat transfer efficiency is employed. By using this equipment, the temperature at the edges of materials goes up approximately 60°C compared with conventional rolling.

As a result, the occurrence of the edge cracking decreased and the relationship between the edge cracking and the edge temperature of the material was made clear.

This paper presents the reheating equipment and the reheating effects.

1. 結 言

大同特殊鋼株式会社（以下当工場という）帯熱延ラインでは、工具鋼・ステンレス鋼・電子機器材料などを中心に生産している。近年、市場で使用する素材の高級鋼化・高機能化などともない、超合金・パーマロイ・溶接用帯など（以下難加工帯という）の需要が増加してきた。難加工帯は圧延温度低下により、製造工程面・品質面で弊害を引き起こす耳割れなどの問題が発生しやすい

（耳割れとは Fig. 1 に示す、帯鋼エッジ部の割れである）。耳割れが発生した場合、冷延前にスリ

Fig. 1. Location at edge of crack.

1991年 8 月 28 日 受付

*大同特殊鋼株式会社

ット工程が追加となり、歩留りロス・工数増加などの弊害につながる。Fig. 2に示すように耳割れ発生の要因はいくつか考えられるが、中でも材料温度低下による加工性の悪化が最大の要因と考えられる。そこで材料エッジ部の温度低下を防止するために、効率的に再加熱できるコンパクトな装置を開発し、仕上列前に設置することにより温度上昇効果を確認したので、ここに報告する。

2. 帯熱延ライン設備概要

当工場帯熱延ラインの設備概要をTable 1に、また設備レイアウトをFig. 3に示す。帯熱延ラインは、粗列に二重逆転水平及び堅形圧延機をもち、仕上列には5基の四重水平及び堅形圧延機を備え、各種高級帯を製造している。

3. オンライン再加熱技術

3.1 従来の問題点

従来の設備では、粗列から仕上列への搬送過程

でFig. 4に示すような材料の温度降下があった。特に、材料後端エッジ部の温度は先端エッジ部に

Table 1. Main specification in Shibukawa Plant.

Item	Specification
Reheating furnace	Pusher type×1 Walking hearth type×1
Roughing train	2hi reverse φ680×1100L×1 Edger φ560×330L×1
Reheating equipment	C.F.B.-5stand×4burner
Finishing train	4hi WR φ320×550L×5 Edger φ650×290L×1
Coiler	Up coiler Wrapper roll×4

Fig. 2. The factor of occurrence of crack at edge of hot strip.

Fig. 3. Layout.

比べ約80℃低下しており、難加工帯の耳割れ発生の最大の要因となっていた。

3.2 オンライン再加熱法

上記問題点を解決し、難加工帯の耳割れを防止

Fig. 4. Changing of temperature at edge of material.

するために、粗列から仕上列間の搬送テーブルを利用し、オンラインで材料を再加熱する装置を開発した。この装置は、5基の再加熱燃焼装置とその装置の間に設けた保熱ゾーンより構成される。この設備概要を Fig. 5 に、設備配置を Fig. 6 に示す。

本設備の特徴は以下に示すとおりである。

(1) 燃焼室内を通過中の材料エッジ部を常時急速加熱するため、Fig. 7 に示すような平面スリット状の高速バーナー (C.F.B: Ceramic surFace Burner)¹⁾を採用し、材料進行方向に取り付けた。

(2) 各種製品幅への対応及び材料の蛇行に対応するために、Fig. 8 に示すように、バーナーを水平より10°傾斜させ取り付けた。

(3) 熱効率を高めるため、Fig. 6 に示すように燃焼室を分散して配置した。また燃焼室間の保熱ゾーンは断熱構造とし、各所に排気筒を設けてドラフトにて排ガスを保熱ゾーン内に強制的に引き

Fig. 5. Burner system.

Fig. 6. General view of reheating equipment.

Fig. 7. Location of Ceramic surface Burner.

Fig. 8. Burner angle.

込み、排ガスの顕熱を有効に活用している。

(4) 設備がコンパクトであり従来の搬送テーブル内に納まるため、着脱・増設が容易である。

3.3 昇温制御

再加熱装置を有効に活用するために、以下の方法を用いて材料エッジ部（□10mm）の温度推移を計算し目標温度に到達するよう燃焼室温度・燃焼方式を制御する。

(1) 輻射伝熱による温度変化 (ΔT_1)

$$\Delta T_1 = \frac{2(B+H) \cdot 4.88}{1/\epsilon_1 + \frac{2(B+H)}{F} \cdot (1/\epsilon_2 - 1)} \left\{ \left(\frac{273 + T_r}{100} \right)^4 - \left(\frac{273 + T}{100} \right)^4 \right\} \times S_r \times \frac{L}{C_p \cdot W \cdot H/B}$$

(2) 対流熱伝達による温度変化 (ΔT_2)

$$\Delta T_2 = h \cdot 2(B+H) \times (T_r - T) \times S_r \times \frac{L}{C_p \cdot W \cdot H/B}$$

(3) 衝突伝熱による温度変化 (ΔT_3)

$$\Delta T_3 = \alpha(0.01 + 0.01 \times 2) \times (T_c - T) \times S_c \times \frac{L}{C_p \cdot W \cdot H/B}$$

(4) 放冷による温度変化 (ΔT_4)

$$\Delta T_4 = -\epsilon_1 \times 4.88 \times 2(B+H) \times \left(\frac{T}{100} \right)^4 \times S_r \times \frac{L}{C_p \cdot W \cdot H/B}$$

諸係数は Table 2 に示す。以上の計算式より温度変化分を ($\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \Delta T_4$) とし、繰り返し計算により温度推移を算出した。なお、温度計算においては燃焼室内はフレームの衝突による強加熱の効果をみており、その前後は排ガスの効果を考慮している。Fig. 9 にこの計算結果の一例を示す。この結果より、燃焼室内の雰囲気温度を制御することで、材料エッジ部を目標の温度に到達させることが可能である。

3.4 稼働実績

再加熱装置使用による材料エッジ温度の実績を Fig. 10 に示す。仕上列前での材料エッジ部の温度が上昇し、均熱性がよくなっている。また Table 3 のように、燃焼方法を連続及び間欠燃焼に変えて、

Table 2. Coefficient used in calculation.

B, H, L, W	Width, thickness, length and weight of material
F	Internal surface area of furnace wall
T, T_r, T_c	Temperature of material, furnace and burner flame
S_r, S_c, S_f	Time of heat transfer. (r: Radiant and flow c: Impact. f: Air cool)
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	Emissivity of material and furnace wall
h, α	Surface coefficient of heat transfer in radiant and flow(h) and in impact, radiant and flow (α)
C_p	Specific heat of material

Fig. 9. Thermal simulation.

Fig. 10. Actual temperature of material.

Table 3. Operation of reheating equipment.

		Intermittent reheating	Continuous reheating
Combustion control	Off material	Off combustion	Thermal control
	On material	Full combustion	Full combustion
The way of heat transfer		<ul style="list-style-type: none"> • Impact heat transfer • Flow heat transfer 	<ul style="list-style-type: none"> • Impact heat transfer • Radiant heat transfer • Flow heat transfer
Object of reheating		Tool steels	Welding stainless steels Super alloys, Permalloys

Fig. 11. Thermal changing in two operation.

材料エッジ部の温度の変化を調査した。その結果を Fig. 11 に示す。再加熱装置の炉内温度上昇により、材料エッジ部温度を上昇させることができ、各種制御により効率的に材料エッジ部を再加熱することができる。

4. 結 言

当工場では、特に難加工帯（超合金・ハードバームなど）の耳割れ改善を目的に、仕上列前の再加熱装置を開発・導入し、耳割れと材料エッジ部温度との関係について調査・検討した結果、以下の成果を得た。

(1) Fig. 12 に示すように、材料エッジ部温度が上昇するのに伴い耳割れ発生率は明らかに低下している。

(2) 再加熱装置の炉内温度を制御することによって、材料エッジ部温度を制御することができることがわかった。

今後はさらに再加熱温度の上昇を目指していくとともに、耳割れ—材料温度—成分の関係を明ら

Fig. 12. Relation of temperature and crack at edge of material.

かにし、難加工帯の品質向上にむけて、操業・技術開発など努力していく所存である。

(文 献)

- 1) 池田, 森田, 落合: 工業加熱, 24(1987), 4, 32