

NKK福山No.2連続溶融亜鉛めっきラインにおける直火還元加熱技術

Application of Reducing Flame Atmosphere in Fukuyama No.2 Continuous Galvanizing Line

NKK福山製鉄所 栗原正典*・小林廣司
設備技術センター 田口 昇・矢野秀勝
高木圭治

1. 緒言

福山 No2CGLは、合金化溶融亜鉛めっき鋼板の需要増加に対応して、1990年4月に稼動を始めた。¹⁾ 当ラインは、自動車用鋼板等の高級商品製造を目的としたため、ダブルポット、誘導加熱式合金化炉、インライン電気めっき設備など数多くの新設備を採用している。特に、焼鈍過程における還元型直火加熱炉については当社の技術を随所に盛り込み、薄鋼板連続加熱の理想像を追及した。

本報では、この直火加熱炉の設備技術と操業状況について報告する。

2. 直火還元加熱法の特徴

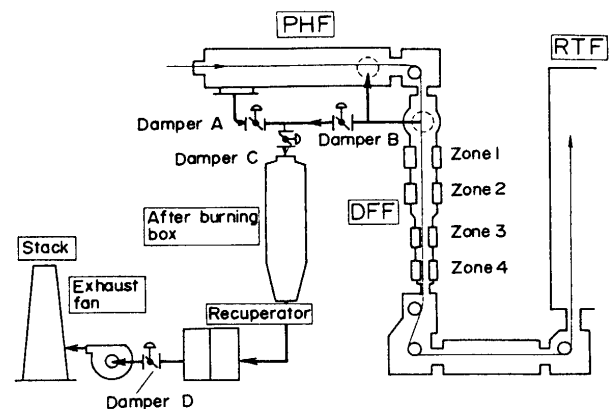
薄鋼板の連続焼鈍プロセスにおいて、従来の間接加熱方式やNOF (Non-Oxidizing Furnace) 方式から還元型直火加熱炉へ代えることにより、一般的に以下の効果を期待することができる。²⁾

- (1) 高温域までの急速加熱が可能となり、炉設備が大幅にコンパクト化される。
- (2) 熱慣性が小さく、サイズ変更、目標温度変更などでの温度制御性が向上する。
- (3) パス数が低減し、高速での安定通板性に優れる。
- (4) NOF方式に比べ、完全光輝加熱が可能となり、鋼板表面品質が向上する。

当社はこれまでにこの加熱方式を、京浜3CGL('83)、福山3CAL('87)の連続焼鈍プロセスに適用してきている。

Fig.1は、福山 No2CGLにおける還元型直火加熱炉の設備構成を示している。

本設備は、当社が進めてきた直火還元加熱技術を積極的に反映させ、鋼板品質の高級化にも十分対応できる直火加熱炉の実現に挑戦したものである。



Productivity : 62T/H Line speed : max 120mpm
Strip size : t0.4~1.6mm w610~1880mm

Fig. 1 Outline of the Fukuyama 2CGL DFF

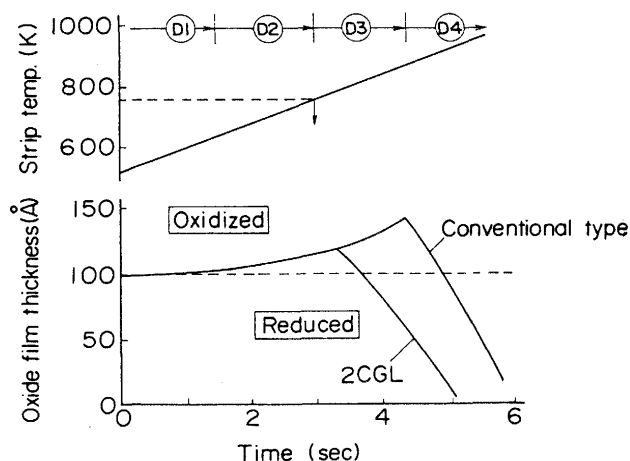


Fig. 2 Typical strip heat pattern and strip surface behavior in direct fired furnace

3. 設備技術の概要

3.1 還元加熱ゾーンの拡大

従来の還元型直火加熱炉における還元加熱帯は、加熱の最終段階で炉長の $\frac{1}{4}$ 程度に配置されるのが一般的であった。しかしながら、火炎の基礎実験から得られた酸化・還元の反応速度係数³⁾をもとにして推定すると、Fig.2に示すように加熱途中で鋼板がかなり酸化することが考えられた。

そこで、No.2 CGLでは還元加熱帯を炉長の $\frac{1}{2}$ に拡大し、加熱途中の酸化を極力抑える構成とした。

3.2 新直火還元加熱バーナ(NKKトロイダルバーナ)の採用⁴⁾

直火還元加熱に対し独自の研究を進めた結果、燃焼用空気を予熱し、燃焼火炎温度を高めることで還元能力が向上することを確認した。そこで、Fig.3に示す様な拡散型で、燃料ガスと予熱空気を急速に混合させることが可能な新構造のバーナを開発した。

本バーナの還元加熱特性は、Fig.4に示すとおり従来型の予混合型ラジアントカップバーナと比較し、実操業における燃焼条件において全般的に還元力が強い。特に500℃近辺の鋼板温度において顕著な差が確認されている。

3.3 無酸化加熱バーナの適正配列

本設備では板幅610mmから1880mmまでの鋼板を加熱するため、均一加熱性に対しても十分な検討を加えた。鋼板の均一加熱性は、還元加熱帯よりもその前段の無酸化加熱帯のバーナ配列に大きく影響される。そこで、既存プロセスの実炉データから修正を行った伝熱モデルで解析を実施した。Fig.5に示す板幅別のバーナピッチと鋼板エッジの温度過上昇の関係から、最適なバーナ配列とバーナトリミング条件を確立した。

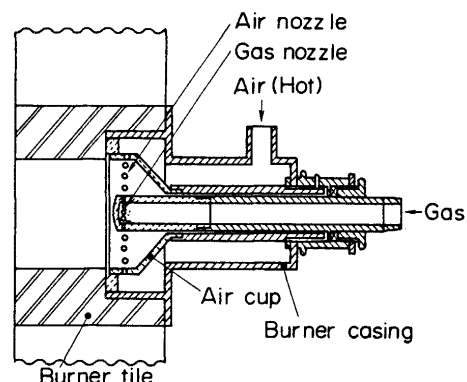


Fig. 3 Construction of NKK toroidal burner

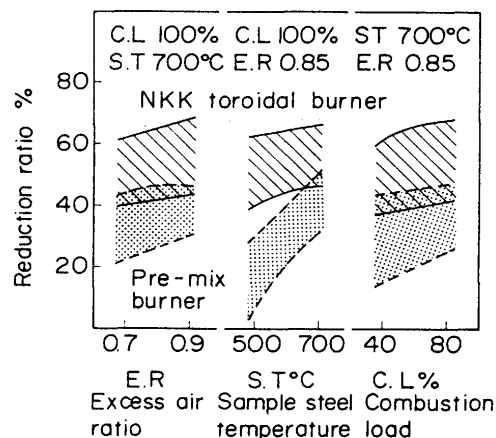


Fig. 4 Comparison of pre-mix burner and NKK toroidal burner (Reduction ratio)

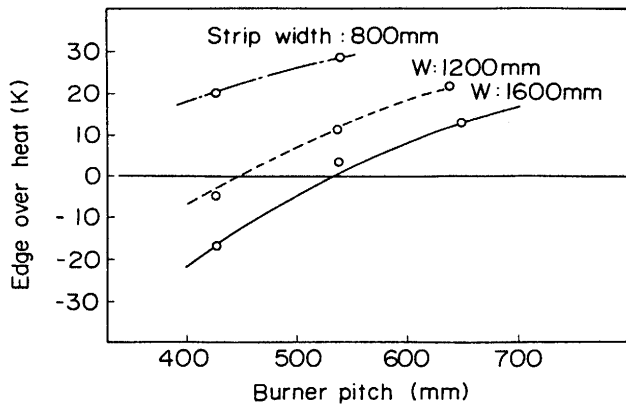


Fig. 5 Relation between edge over heat of strip and non-oxidation heating burner arrangement

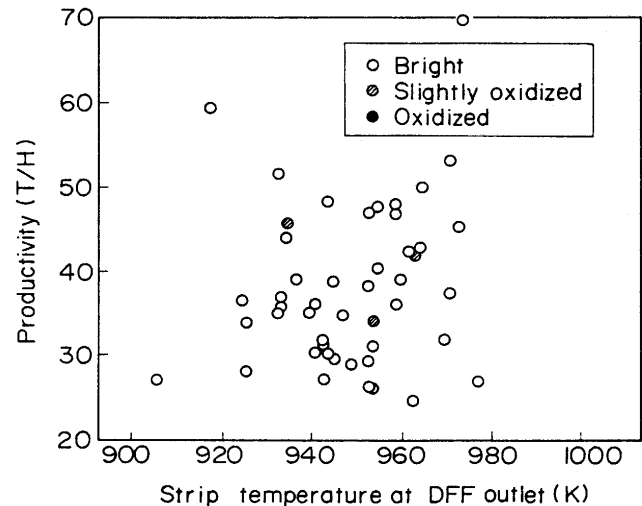


Fig. 6 Strip surface condition at DFF outlet

3.4 高級化対応の新技术⁵⁾

高品質な鋼板を製造するためには、直火加熱炉に付帯する予熱炉やロール室etc が高精度に機能しなければならない。しかも、直火加熱炉は操作パラメータ（各種の流量、温度、圧力）の変動が急峻となるためその重要性は大きい。本設備には、以下のような新機能を充実させた。

- (1) 燃料（Cガス）性状の変動に追従するダイナミック空気比制御
- (2) 予熱炉での鋼板の酸化を抑制する2段階アフターバーニング制御
- (3) ロール室でのシール強化による炉内ガス流れの適正化
- (4) 鋼板表面の放射率変化に依存しない多重反射型放射温度計の採用

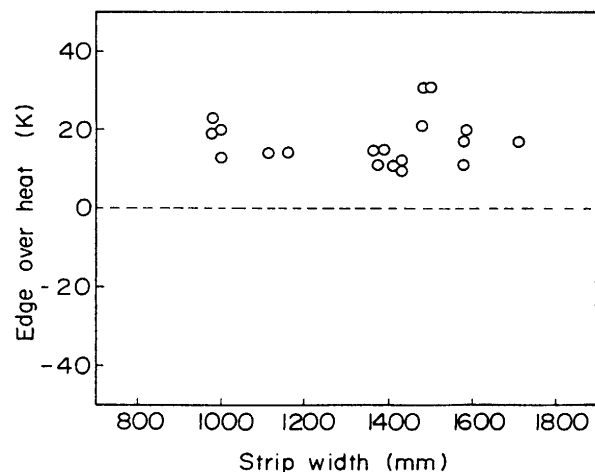


Fig. 7 Edge over heat at DFF outlet

4. 操業状況

4.1 鋼板表面品質

Fig.6 に直火加熱炉出口での鋼板表面品質の観察結果を能率(T/H) と鋼板加熱温度との関係で示す。ほとんどの操業で光輝面加熱を実現している。（調査期間：1年2ヶ月）

4.2 鋼板幅方向の均一加熱性

Fig.7 板幅別の鋼板エッジオーバーヒート量を示している。いずれの鋼板サイズにおいてもエッジオーバーヒート量は+10~20K程度である。これは、980K（約700℃）までの昇熱温度の3%と小さい。

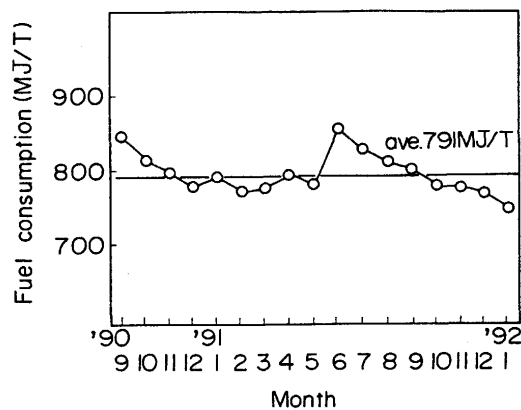


Fig. 8 Transition of fuel consumption

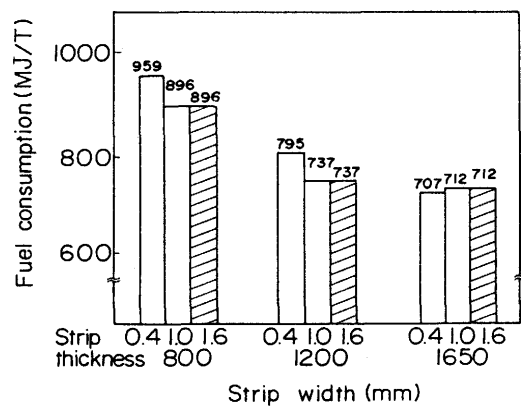


Fig. 9 DFF fuel consumption (Simulation data)

4.3 熱効率と燃料原単位

直火加熱炉の熱効率は、本設備にとって設計（適正）板幅とされる1650mm以上で、60～70%となっている。

Fig.8 は燃料原単位実績である。平均で791MJ/T ($189 \times 10^3 \text{ kcal/T}$) である。伝熱解析からの予想では、Fig.9 に示すように広幅材で 700MJ/T ($\text{約} 160 \times 10^3 \text{ kcal/T}$)、狭幅材で 900MJ/T ($\text{約} 220 \times 10^3 \text{ kcal/T}$) レベルである。

サイズ構成、操業変動、昇温ロスなどを考慮すればこの実績値はほぼ妥当といえる。

5. 結言

当社の直火加熱炉を代表して、福山2CGLでの設備技術と操業について報告した。当ラインは、早期安定稼動、早期ユーザーアプルーバル取得を達成して順調な操業を続けている。

その中で、本設備は鋼板品質、加熱特性、燃料原単位等ほぼ計画どおりの性能を発揮している。今後は本設備で得られた新たな知見を新設ラインへ反映すると共に、商品開発の変化に対応して、この直火還元加熱技術をさらに高性能化していく予定である。

[参考文献]

- 1) 高木ら：NKK技報 No.135 P34 (1991)
- 2) 栗原ら：熱処理 Vol.32 No.3 P140 (1992)
- 3) 福田ら：工業加熱 Vol.23 No.4 P25 (1986)
- 4) 吉田ら：NKK技報 No.127 P120 (1989)
- 5) 中山ら：NKK技報 No.136 P16 (1991)