

現場技術報告

ホットストリップエッジ部材質制御技術

Control Technology for Duplex Grain Structure at Edge of Hot Strip

新日本製鐵 (株) 大分製鐵所

中本武広・野口浩嗣*

大分技術研究部 土師純治

1. 緒言

熱延仕上圧延においてストリップ・エッジ部はセンター部より低い温度で圧延される為、フェライト粗大粒と整粒との2層からなる混粒組織が発生しやすく、これは鋼板の延性を低下させ冷延工程での形状悪化及び機械加工時の耳割れを引き起こす原因となっている。

大分製鐵所連熱工場では他の国内熱延ミルと同様、混粒対策としてエッジヒーターを設置しているが、大分の特徴として高加速圧延を実施している為、コイル内での仕上出側温度履歴は大きく異なっており、これに伴いフェライト変態点もコイル内で変動しコイル内一定の温度基準設定では不十分であった。この対応策としてコイル全長に亘りフェライト変態を考慮した混粒発生予測モデルを開発しオンライン制御への適用を試みた。

2. 設備概要

Table 1、Fig.1 にエッジヒーターの設備仕様及び概略図を示す。インダクターは周辺設備保護の観点(漏れ磁束による周辺設備の加熱防止)から4脚鉄芯補極付を採用した。

3. 混粒発生予測モデル

3.1 混粒発生予測モデルの基本的な考え方

混粒組織表層部の粗大粒は圧延温度が低い場合、仕上圧延中にフェライト変態が開始し加工されたフェライトが冷却・巻取の過程で異常粒成長を起こし粗大化したものと考えられており、混粒発生の予測にはフェライト変態を精度良く計算出来ることが重要である。Fig.2 は変態潜伏期消費の考え方を示しており、一般的に炭素鋼は A_{e3} 以下の温度に急冷してその温度で保持するとある潜伏期を経過したあと α 変態を開始する。一定温度の場合は一定時間(変態潜伏期)を経過することで変態するが、図中のように材料の冷却が進行する場合は冷却曲線に沿って変態潜伏期消費率を求め、総和が1になった温度(A_{r3})により変態開始とする。

混粒発生予測モデルにおいても上記考え方にに基づき計算を行うが、変態潜伏期は成分・温度等のファクターにより算出され、変態潜伏期消費率 R_F は(1)式により算出する。

$$R_F = \Delta t_1 / \tau_{F1} \quad (1)$$

Δt_1 : A_{e3} 以下での微小時間(sec)

τ_{F1} : α 変態潜伏期(sec)

Fig.3 は混粒発生予測モデルの計算フローを示しており、材料の温度が A_{e3} 以下になると α 変態の潜伏期の消費が開始され、消費

Table1. Specification.

Item	Specification
Inverter-Power	2500KW × 2 set - 500Hz
Inducter-Power	1100KW × 4 set
Inducter-Type	Transverse flux type
Inducter-Size	L 730 × W 265 × H 600mm
Accept Bar-Size	Gauge 20 ~ 50mm Width 600 ~ 2150mm
Control System	Main : PC200 *1 Sub : MELSEC *2

*1 Programmable Controller, *2 Sequencer

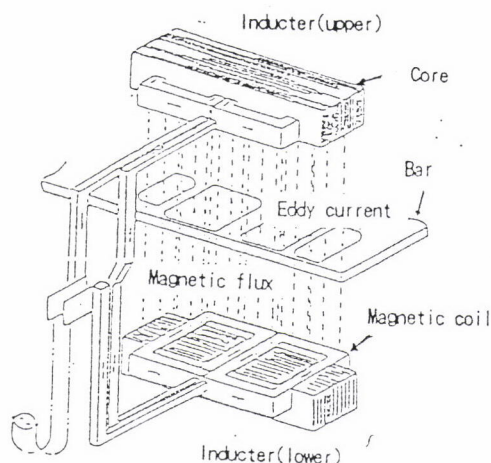


Fig.1. Partial figure of the Edge-Heater.

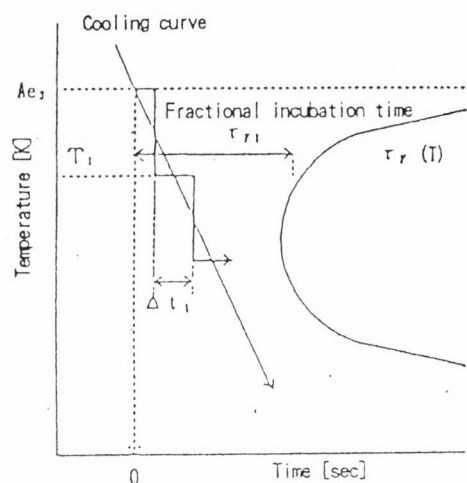


Fig.2. Consumption of fractional incubation time.

率が1になると α 変態を開始して変態率を計算する。変態率計算には γ 粒再結晶、粒成長の計算を行い、圧延温度履歴設定については仕上前面より仕上圧延完了迄の温度計算を行う。

混粒発生予測は α 潜伏期の消費率が仕上圧延完了までに1を越えない温度履歴が否かで判断する。

3.2 混粒発生予測モデルの精度検証

Fig.4 は板厚 2.0mm材と1.2mm 材について圧延した場合のストリップ・エッジ10mm点での混粒率を当該部の計算温度で整理したものである。(混粒率：粗大粒が発生した領域の厚みの全厚に対する割合。)

モデルは精度よく混粒発生を予測出来ているといえる。

4. オンライン制御への適用

4.1 オンライン制御の基本的な考え方

以上の結果より混粒組織の発生有無は熱履歴に沿って潜伏期の消費率を計算し、仕上圧延中に消費率が1になるかどうかでその発生を予測出来るが、このモデルをそのままオンラインに組み込むことは計算機負荷上厳しいので簡易化してエッジヒーター・オンライン制御に適用することを検討する。

前述のモデルにより一定の操業条件(板厚、速度パターン、成分等)を与えれば予測された熱履歴に基づきコイル全長に亘り混粒発生を防止する為の限界仕上温度(FTe)を求めることが出来る。エッジヒーターは仕上入側時点での温度実績からこのFTeを確保する為の必要最小限の昇熱を行えばよい。

$$FTe = a_1 + a_2[C] + a_3[Mn] + a_4t + a_5(V - V_{min})/V_{min} \cdots (2)$$

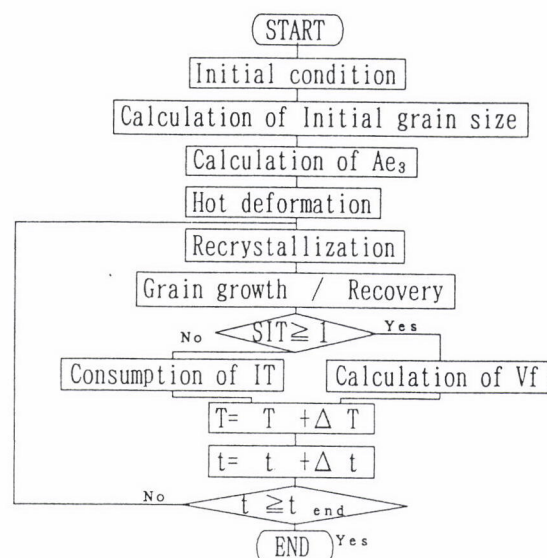
$a_1 \sim a_5$: 係数

[C],[Mn] : カーボン、マンガン 成分量

V, V_{min} : 仕上出側速度 (V_{min} はその最小値)

t : 板厚

Fig.5 にエッジヒーター・オンライン制御フローを示す。



IT : Incubation Time

SIT : Sum of the Consumption of fractional IT

Vf : Fraction Volume

Fig.3. Calculation flow.

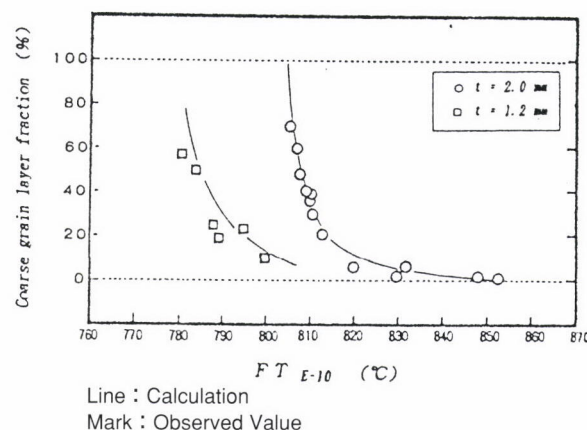


Fig.4. Coarse grain layer fraction and finish rolling temperature.

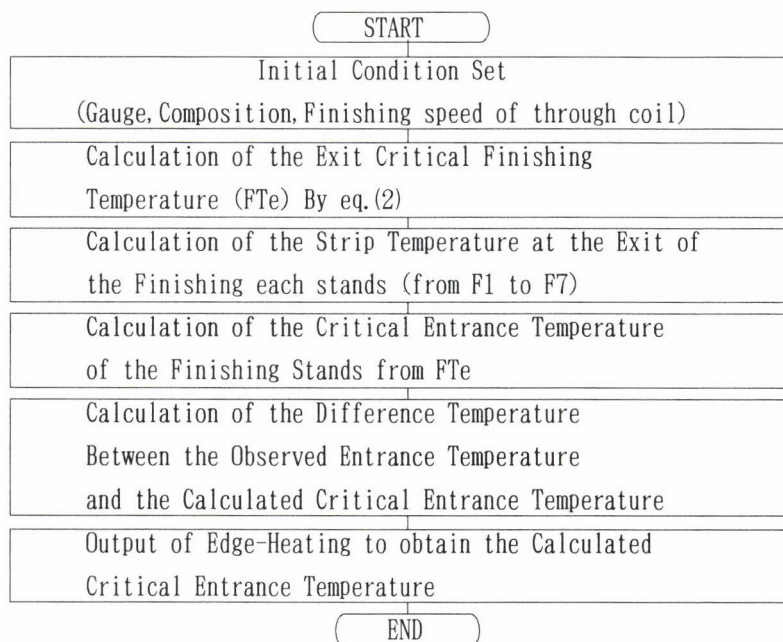


Fig.5. ON-LINE Control flow of Edge-Heater.

4.2 オンライン制御実施結果

Fig.6,7 に制御実施例を示す。Fig.6 ではインコイルでの出力例を示しており、モデル値の温度パターン通り過不足なく昇温出来ていることがわかる。Fig.7 はある仕上出側温度・速度条件での混粒率を示しており実線が (2) 式による限界仕上温度 (F_{Te}) でありこの限界温度を確保する限り混粒は皆無であり、この線以下になった時初めて混粒が発生することがわかる。

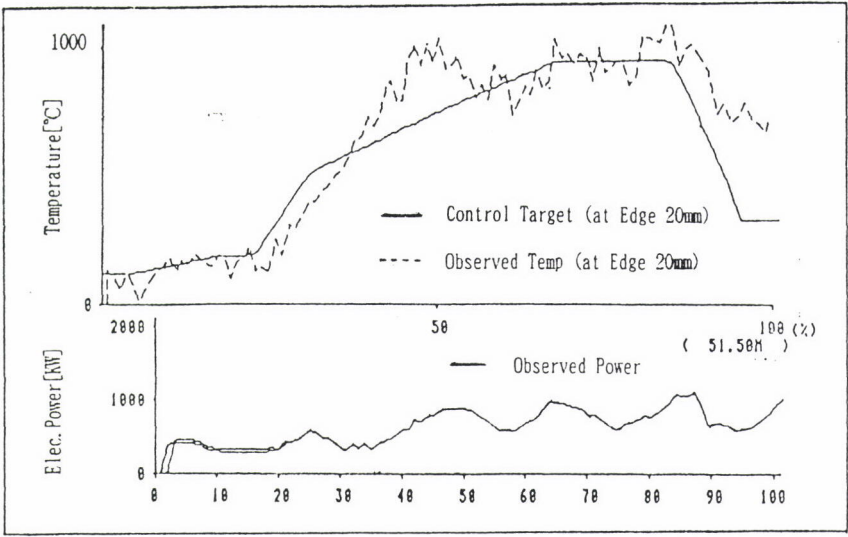


Fig.6. Example of ON-LINE Control OUTPUT.

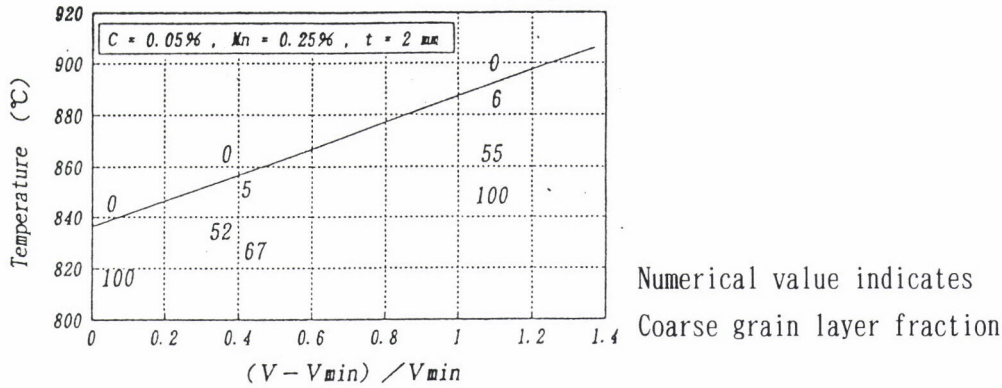


Fig.7. Observed Coarse grain layer fraction.

Table.2 は前記オンライン制御を適用する前後の冷間時の形状波高さ分布および機械加工時の耳割れ発生率を示す。本制御により下工程における形状・耳割れの品質向上効果を得ることが出来た。

Table 2. Effects to Strip quality.

	Before	After
Maxmum Wavy Shape	$\bar{x} = 1.50 \text{ mm}$	$\bar{x} = 0.95 \text{ mm}$
Height of strip	$\sigma = 0.17 \text{ mm}$	$\sigma = 0.17 \text{ mm}$
Edge Crack	3 %	0 %
Breaking out		

5. 結言

混粒発生予測モデルを開発し、その結果をもとにエッジヒーターのパワーを圧延中にリアルタイムで変更していく制御システムを構築した。これにより動的に変態点の予測を可能にしそれを制御することにより品質的にもコスト的にも優れたホットストリップ製品を提供することが出来た。