

(722) 厚板圧延における組織制御

川崎製鉄(株) 技術研究所 ○齊藤良行 木村 求 田中康浩
 水島製鉄所 関根稔弘 三宮好史 西崎 宏

1 緒 言

制御圧延は加熱温度、圧延温度、圧下率、冷却速度等を管理することにより組織制御を行い、良好な材料特性を得るための加工熱処理であるが、上記の制御パラメータの効果を定量化し組織変化を予測制御し圧延プロセスの最適化をはかることが、低コストで安定な材質を得るための必要不可欠な条件である。制御圧延材の組織制御を目的として、圧延中の組織変化を記述する数式群を開発した。圧延中の組織変化を間接的に検知し数式モデルによる予測精度をオンラインで判定し、フィードフォワード・フィードバック制御を行うための手段として熱間変形抵抗を利用した。

2 組織制御モデルの概要

2.1 再結晶オーステナイト粒径予測モデル: Sellarsらの式を用いて初期オーステナイト(r)粒径、圧延温度、圧下率、ひずみ速度、パス間時間をパラメータとして再結晶 r 粒径 d_{rex} を推定した。平均変形抵抗 k_m と d_{rex} の間には $\ln d_{rex} \propto \ln k_m$ の関係がなりたつ。

2.2 炭窒化物析出モデル: 古典的核形成理論により r 中の炭窒化物の析出過程を予測した。ひずみ誘起析出過程を定式化するため核形成サイト、析出物の表面エネルギー、炭窒化物形成元素の拡散エネルギーにおよぼす変形の効果を定量化した。

2.3 フェライト粒径予測モデル: フェライト(α)粒径を再結晶 r 粒径 d_{rex} 、変態直前の蓄積ひずみ $\Delta \epsilon_t$ 、冷却速度 C_R の関数で記述する(r/α)粒径変換モデルを開発した。 $r-\alpha$ 変態温度は熱伝導方程式の解を利用した熱分析法により決定した。 α 粒径 d_α は d_{rex} 、 $\Delta \epsilon_t$ 、 C_R の関数として以下の式で記述できる。

$$\ln d_\alpha = c_0 + c_1 \ln d_{rex} - c_2 \tanh \Delta \epsilon_t - c_3 \ln C_R, \quad (c_0 \sim c_3: \text{定数}) \quad (1)$$

2.4 フェライト強化パラメータ: ($r+\alpha$)2相域での圧延の強さを記述するパラメータとして α 中に導入されたひずみの累積量を用いた。 α 強化パラメータ P_F は各パスの変態量 R と加工ひずみ ϵ の積の総和で表わされるが、 α 中のひずみ回復効果を考慮して以下の式で P_F を記述した。

$$P_F = \sum_i \epsilon_i \cdot R_i(T, t) \cdot \lambda(T, t, \epsilon), \quad (1-\lambda: \text{ひずみ回復量}) \quad (2)$$

3 組織制御モデルの厚板圧延への適用

実機ミルを用いて実験圧延を行い、圧延時の組織変化と上記の制御モデルを用いた予測結果と対応させた。図1に再結晶 r 粒径と α 粒径との関係を示す。図中の直線は(1)式による予測値を示す。

α 粒径は(1)式により精度良く予測できることがわかる。(2)式により計算した α 強化パラメータ P_F と引張強度との関係を図2に示す。 P_F と引張強度は密接な関係にあることがわかる。以上の結果から r 中の蓄積ひずみ量、変態にともなう変形抵抗の変化を定式化することにより厚板圧延における材質の予測制御が可能である。

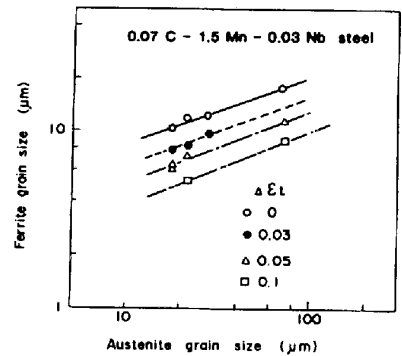


Fig.1 Dependence of ferrite grain size on austenite grain size and strain accumulated prior to transformation; cooling rate = 0.2°C/sec

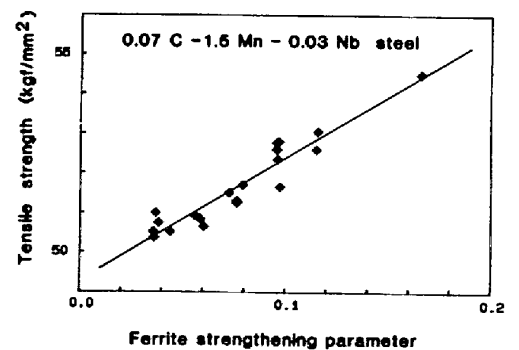


Fig.2 Relationship between ferrite strengthening parameter and tensile strength