

(403) 熱間変形応力の理論的考察に基づく数式化

(高速連続熱間圧延のメタラジーに関する研究 第5報)

新日鉄 生産技術研究所 ○瀬沼武秀, 松村義一, 矢田 浩, 中島浩衛

1. 緒 言

最近の報告に見られるように、熱間変形抵抗を精度よく予測するには高温時の材料の組織変化を考慮に入れた変形抵抗式の必要性が強調され始めた。前報⁽²⁾で高速連続熱間圧延では普通鋼でも歪の累積効果とそれによる動的再結晶挙動を考慮する必要があることを指摘したが、今回、これを定量化するために必要な応力歪曲線の数式的表現を試み、実験結果と比較した。

2. 熱間変形応力の金属物理学に基づく数式化

パス間の静的な復旧過程をも変形中の動的な過程と連続して記述するためには、高温の材料の状態を転位の状態として表現する必要がある。変形応力は転位論的に次式のように書き表すことができる。

$$\sigma = a_1 \rho^{1/2} + a_2 d^{-1/2} + a_3 [\theta_0 - kT \ln(a_4 \rho / \dot{\epsilon})] \dots \dots \dots (1)$$

ここで第1項は転位の応力場などによるロンゲレンジの応力、第2項は粒界の抵抗、第3項は転位運動の摩擦抵抗を表す ($a_1 \sim a_4, k, \theta_0$ は定数)。転位密度 ρ は高温では加工による増加と動的な回復と再結晶による減少で決まると考えられる。その挙動を2, 3の仮定を置いて簡略化すると次式のように数式化することができる。

$$\epsilon < \epsilon_c \quad \rho = \rho' = a_5 (1 - e^{-b\epsilon}) + \rho_0 e^{-b\epsilon} \dots \dots \dots (2)$$

$$\begin{matrix} \epsilon_c + k\epsilon_c' < \epsilon < \epsilon_c + (k+1)\epsilon_c' \\ k \geq 1 \end{matrix} \quad \rho = \rho' (1-X) + \int_{\epsilon_c + k\epsilon_c'}^{\epsilon} \rho_i \left(\frac{dX_k}{d\epsilon_i} \right) d\epsilon_i + \int_{\epsilon - \epsilon_c'}^{\epsilon} \rho_i \left\{ \sum_{j=0}^{k-1} \frac{dX_j}{d\epsilon_i} \right\} d\epsilon_i \dots \dots \dots (3)$$

$$X_j = 1 - \exp[-G(\epsilon_i - \epsilon_c - j\epsilon_c')^2] \dots \dots \dots (4)$$

$$\rho_i = a_6 [1 - e^{-b(\epsilon - \epsilon_i)}] \dots \dots \dots (5)$$

ここで X は再結晶率、 ϵ_c は動的再結晶が始まる歪、 ϵ_c' は一度動的に再結晶した粒が再び再結晶を起すに必要な歪を表す。又 $b, G, \epsilon_c, \epsilon_c'$ は熱的に活性化される量である。 (a_5, a_6 は定数)

3. 実験結果との比較

C 0.01~0.4, Mn 0.25~1.50, Si 0.03~1.5 の供試材を真空溶解し、前報の熱間加工シミュレータ⁽³⁾を用いて大歪までの応力・歪曲線を測定し、上の式による計算結果と比較した1例を図1に示す。本研究で開発した変形応力式は、このほか応力が動的再結晶時に周期的に変動する場合など実際に観察されている変形応力の挙動を一般的に表現できるので、連続熱間圧延の変形抵抗式の基礎式として十分適用できると思われる。

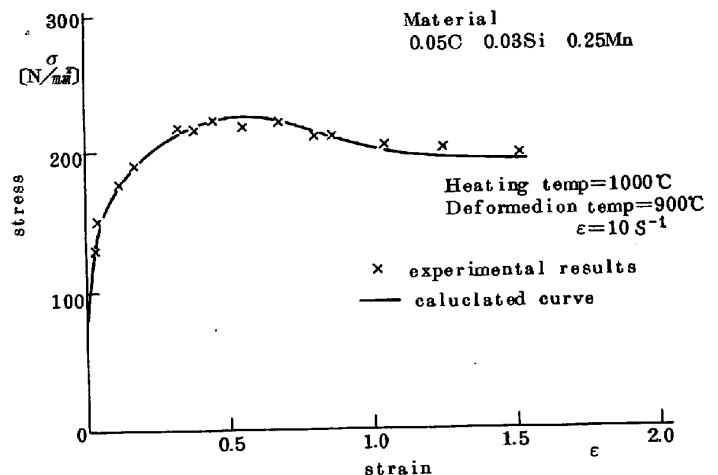


Fig.1 Stress-strain curve.

参考文献

- (1) 斉藤ほか：鉄と鋼 67 (1981) A45, 大内ほか：鉄と鋼 67 (1981) A49
- (2) 矢田ほか：鉄と鋼 67 (1981) A49
- (3) 矢田ほか：鉄と鋼 66 (1980) S992, S993