

(293) シームレス鋼管の材質に及ぼす鍛錬度の影響 (第1報)

塑性変形解析による鍛錬度の評価

新日鐵 八幡技術研究室

○吉原征四郎, 神田光雄

1. 緒 言: 圧延素材をCC化する場合には製品の鍛錬度の検討が必要となる。本報ではシームレス鋼管圧延時の変形を適正に評価するためのひずみ理論と幾何学的ひずみの求め方について、第2報ではエレクトロンビームを用いた鋼の変形解析法について、第3報では圧延工程における人工割れの圧着状況について、第4報では製品における鍛錬度評価結果について紹介する。

本報ではひずみ硬化が相当ひずみ増分 $d\epsilon^p$ の変形経路に沿う積分値 $\int d\epsilon^p$ の関数とするひずみ硬化仮説に鍛錬度の指標を求めた。この指標により鍛錬度あるいは加工度を評価するために次のことを行なった。(1)任意の点の幾何学的ひずみと付加的剪断ひずみを全工程にわたって追跡すること。特にエロンゲータの様な複雑な変形を行なう工程では嚙止材によりひずみ履歴を測定すること。(2)評価しようとする材質、例えば鋼でひずみ履歴を求めること。(3) $\int d\epsilon^p$, 人工割れの圧着度判定, マクロ・マイクロ組織, 機械試験値, 実用試験値等が相互に比較でき指標を一般化すること。

2. ひずみ計算法

$$\text{全ひずみ理論で剪断ひずみを無視;} \quad \epsilon_{eq1} = \sqrt{\frac{2}{3}} (\epsilon_r^2 + \epsilon_\theta^2 + \epsilon_L^2)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

$$\text{全ひずみ理論で剪断ひずみを考慮;} \quad \epsilon_{eq2} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ \epsilon_r^2 + \epsilon_\theta^2 + \epsilon_L^2 + \frac{1}{2} (\phi_{\theta L}^2 + \phi_{Lr}^2 + \phi_{r\theta}^2) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

$$\text{ひずみ増分理論の数値計算式;} \quad \epsilon_{eq3} = \sqrt{\frac{2}{3}} \left\{ \Delta \epsilon_{ri}^2 + \Delta \epsilon_{\theta i}^2 + \Delta \epsilon_{Li}^2 + \frac{1}{2} (\Delta \phi_{\theta Li}^2 + \Delta \phi_{Lri}^2 + \Delta \phi_{r\theta i}^2) \right\}^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

$$\text{角から丸への変形;} \quad \epsilon_{r12} = \ln \cos \theta \quad (4), \quad \epsilon_{\theta12} = \ln \pi/4 \cos \theta \quad (5), \quad \epsilon_{L12} = \ln 4/\pi \quad (6)$$

$$\text{丸から管への変形;} \quad \epsilon_{r23} = -\ln r_2^2 \{ t_3(2r_3 - t_3)/r_2^2 + (r_3 - t_3)^2/r_2^2 \}^{\frac{1}{2}} / t_3(2r_3 - t_3) \quad (7)$$

$$\epsilon_{\theta23} = \ln \{ t_3(2r_3 - t_3)/r_2^2 + (r_3 - t_3)^2/r_2^2 \}^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

$$\epsilon_{L23} = \ln r_2^2 / t_3(2r_3 - t_3) \quad (9)$$

$$\text{角から管への変形;} \quad \epsilon_r = \epsilon_{r12} + \epsilon_{r23} \quad (10), \quad \epsilon_\theta = \epsilon_{\theta12} + \epsilon_{\theta23} \quad (11), \quad \epsilon_L = \epsilon_{L12} + \epsilon_{L23} \quad (12)$$

なお剪断ひずみ測定値は微小要素に分括して測定する場合には誤差が小さく修正計算は省略できる。

3. 計算結果

(1) 図1は角断面を円管に圧延する場合の幾何学的計算モデルの説明図であるが、 $t/D=0.25$ の場合の格子付目の変化が同時に描かれている。図2はPPMにおける幾何学的ひずみ計算結果であり図1の3に対応する。以下SM後まで同様に断面内の任意の点の幾何学的ひずみが求まる。

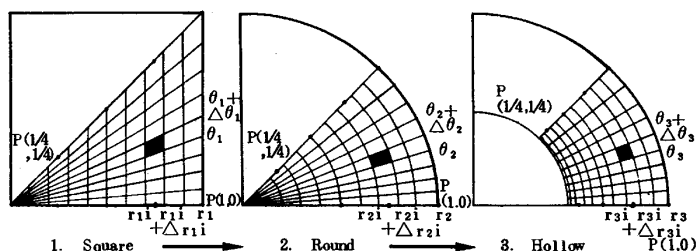


図1. 幾何学的ひずみ計算モデル

(2) エレクトロンビームを用いて鋼の剪断変形を測定し、③式に従って計算した結果を図3に示した。板圧延等についても同法により剪断変形を測定し比較した。

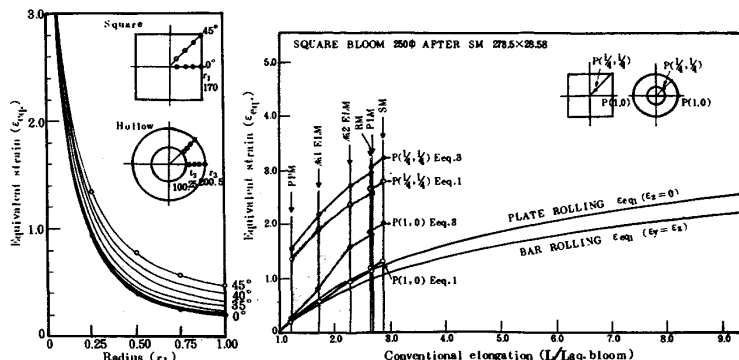


図2. PPMにおける幾何学的ひずみ計算結果

図3. 中径シームレス鋼管工場で製管した場合の相当ひずみ (メタルフロー測定値を使った計算)

4. 結 言

PPMとエロンゲータを組合わせた製管法では最もひずみの小さい部分でも十分な加工が加えられていることが明らかとなった。