

(90) 連 鑄 ス ラ ブ の 熱 応 力 に つ い て (一次元凝固応力)

八幡製鉄 技術研究所

有 吉 敏 彦

I 緒 言

凝固過程で鋼塊に発生する応力を見積る事は割れの問題を取扱う上で重要である。ここでは一次元問題に限って塑性変形を伴う凝固応力の計算式を説明し、その問題点について述べる。

II 理 論 式

無限に広い板の厚み方向に x 軸を取り、時刻 t における温度は板の面内で一様として $T = T(x, t)$ と置く。この時板には面に沿った等軸的な応力のみが働き、面内で一様となる。 $\sigma = \sigma(x, t)$ 。この応力 σ による相当応力は、 $\bar{\sigma} = [(3/2) \sigma'_{ij} \sigma'_{ji}]^{1/2} = |\sigma|$ であるから、応力増分 $d\bar{\sigma}$ に対する面に沿った歪増分 $d\epsilon^p$ は、加工硬化函数 H を $\bar{\sigma} = H(\int d\epsilon^p)$ とすると

$$d\epsilon^p = d\sigma / 2H'$$

で与えられる。一方応力 σ は板の見掛けの全歪 $\epsilon(t)$ と塑性歪 ϵ^p および熱膨脹 $\int_{T_0}^{T(x,t)} \alpha dT$ の差に比例し

$$\sigma(x, t) = [E / (1 - \nu)] [\epsilon(t) - \epsilon^p(x, t) - \int_{T_0}^{T(x,t)} \alpha dT] \quad \nu, \text{poisson 比} \quad (1)$$

, $E = E(T)$, 弾性率 (2)

となる。所で凝固・熔解の過程では熔融部分は変形に対して抵抗がなく歪は常に見掛け歪 $\epsilon(t)$ に等しい。したがって x_0 凝固した時点 $t(x_0)$ に凝固前面に附着する層は既に固有の塑性歪 $\epsilon^p(t(x_0))$ を持つており、塑性歪 ϵ^p は

$$\epsilon^p(x, t) = \int_{t(x)} d\epsilon^p(x, t) + \epsilon^p(t(x)) \quad (3)$$

で決定される。また見掛けの全歪 (板の膨脹・収縮) は板の釣合より定まり、板に軸荷重がない時、 $\int \sigma dx = 0$ となるように、

$$\epsilon = [\int \frac{E}{1-\nu} \epsilon^p dx + \int \frac{E}{1-\nu} \int_{T_0}^{T(x,t)} \alpha dT \cdot dx] / \int \frac{E}{1-\nu} dx \quad (4)$$

で求まる。したがって以上の4式を連立して解く事によりスラブ凝固過程の熱応力が計算出来る。

III 結果および結論

連鑄スラブの残留応力の測定結果と計算値との比較を図に示す。両者の間に大きな差があるが、この原因には応力測定の問題もあるが、計算式の上でも鋼の高温での機械的性質の資料が乏しく、またその測定の困難な事が挙げられる。

凝固温度に保定される場合を除き、平衡状態にない凝固過程は必然的に鋼塊に塑性歪をもたらし、鋼塊の温度が均一化されるに従って大きな熱応力が発生する。よって割れ対策の面では鋼種に応じた均一化温度の選択が重要な問題となる。熱応力の解析によつて以上の見地より割れの起る条件を緩和する方向を見出す事は出来るが、現状では割れの起る限界を知る事は出来ない。

参 考 文 献

- R. Hill 'Mathematical theory of plasticity' CLARENDON PRESS
J.H. Weiner, B.A. Boley 'Elasto plastic thermal stresses in solidifying body' J. Mech. Phys. Solids 1963, 11, P145~154
B.A. Boley, J.H. Weiner 'Theory of Thermal Stresses' Wiley New York

