

神戸製鋼所 浅田研究所 ○嶋田雅生 小川陸郎 中上明光

1. 緒言 焼き入れ中の応力発生は、熱収縮と変態膨張が材料内部で不均一に起ることが原因であるが、熱応力と変態応力の両者を考慮した一般的な応力計算方法は、まだ確立されていない。変態を考慮した計算例としては、井上¹⁾、利岡²⁾の報告がある。本研究では、応力依存性を有する CCT 曲線を利用した方法で変態を考慮する応力解析を、大形ロータ材に対して行なったので、その結果を報告する。

2. 計算方法 温度計算、応力計算は通常の有限要素法によった。対象とした材料は低圧用の 3.5Ni-1.7Cr-Mo-V 鋼であるが、この鋼では、マルテンサイト、ベイナイト変態を考慮すれば充分である。相解析も要素毎に行なったが、変態量 y と変態膨張量 Δl は、実測された熱膨張曲線に基づいて次のように取扱った。 $y = 1 - \exp(-4.2x)$; $x = (T_s - T) / (T_s - T_f)$ T_s, T_f は、変態開始、終了温度、 $\Delta l / l = 0.48\%$ (ベイナイト), 0.56% (マルテンサイト)、また、変態発熱によって温度上昇が生じた場合は、逆変態が生じないものとして取扱った。

変態開始温度は、静水圧下では低下し、一軸応力下では上昇することを考慮するために、応力テンソルの不変量である平均垂直応力 σ_m 、相当応力 $\bar{\sigma}$ を用いて次のような仮定をした。

$$\Delta T_s = a \cdot \sigma_m + b \cdot \bar{\sigma} \quad : a, b \text{ は材料定数}$$

変態終了温度、ベイナイトのノーズ時間に対しても同様な仮定を設けて、変態に及ぼす応力の影響についての検討も合わせて行なった。

3. 結果および考察

50φ, 200φ の試料を焼き入れして冷却曲線を測定し、焼き入れままでの残留応力を Sachs 法によって測定し、計算結果と比較した。両者は、ほぼ一致しているので計算結果は妥当であると考えられる。図 1 に示すように太い径のものは、残留応力のパターンが表面近くで圧縮応力、中心部で引張応力となり、200φ 以下の細い径のものでは、逆のパターンとなっている。しかし、残留応力の直径依存性は、ある一定の直径以上では消えてしまい、径によらずほぼ同一の残留応力パターンを示す。変態点の応力依存性を考慮した場合には、焼入組織としてのマルテンサイトが減少するが、残留応力分布には大きな影響はみられなかった。これらの結果は次のように考えられる。太径のものは冷却曲線が相対温度³⁾で表わし得るので熱応力分布が径に依存しない事となり、かつ、変態の起こり方もベイナイトが主となり、発生する変態応力分布の直径依存性も小さくなるためであろう。変態の応力依存性の効果はフェライト変態等が、その時の応力状態により起きたり起こらなかつたりする鋼種ならばその影響が大きいと考えられるが、対象としたロータ材では、こうした現象が起こらないので影響が小さいのであろう。

1) 井上：材料，22(1973) P. 218

2) 利岡：鉄と鋼，62(1976) P. 154

3) 日本鉄鋼協会編：“鋼の熱処理”丸善(1969) P. 16

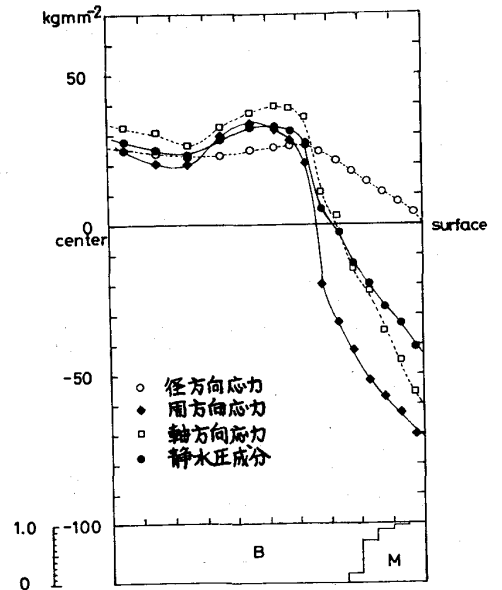


図 1 1000φの焼き入れ後の残留応力と焼き入れ組織の径方向分布