

(531)

12 Cr-Mo-W-V 鋼の長時間応力緩和特性の解析

富士電機製造(株) 中研

◎ 松本浩造

高井耕一

緒言：蒸気タービンの熱効率および信頼性を向上させるには、ケーシング締付ボルト材の応力緩和特性を十分に把握しておくことも重要である。最近、この方面のボルト材として多用されてきているのは 12% Cr 鋼を改良した 12 Cr-Mo-W-V 鋼である。本鋼種に関し、実用温度域で数千時間にわたる応力緩和試験を行ない、残留応力の変化を求めるとともに、緩和過程の塑性ひずみ速度の解析によって応力緩和過程を明らかにした。また、緩和過程を律速する活性化エネルギーと塑性ひずみ速度の温度依存性の表式にもとづく残留応力の予測の可能性などについても検討した。

供試材と試験方法：供試材は C 0.24%，Cr 11.6%，Mo 0.98%，W 0.98%，V 0.26% を含有した焼入焼戻し材で、その常温の降伏点は 82.4 kg/mm^2 ，引張強さは 106.2 kg/mm^2 ，および伸びは 18.2% であった。試験片には直径 10 mm，標点距離 100 mm のエッジ付のものを使用した。使用した試験機は最大荷重容量 3 ton と 10 ton の自動平衡型引張式のもので、試験時の設定全ひずみ (ϵ) は 0.15% と 0.20% とした。また、応力緩和試験終了後の試料のミクロ組織と機械的性質の変化についても二、三の検討を行なった。

結果：(1) 475℃～550℃ の範囲で応力緩和特性に及ぼす温度と全ひずみの影響を明らかにした。 $\epsilon = 0.20\%$ の場合の結果を図 1 に示す。図中の σ_0 は初期応力である。(2) 応力緩和における塑性ひずみ速度 ($\dot{\epsilon}_p$) は残留応力 (σ) の関数になるが、べき関数および指数関数型のいずれでも表現しうることがわかった。後者の実験結果を図 2 に示す。(3) 塑性ひずみ速度 ($\epsilon = 0.20\%$ の場合) の温度依存性の解析からおおのこの段階を律速する活性化エネルギーを求めると、図 3 のようになり、応力依存性をもっていることがわかった。(4) 塑性ひずみ速度 ($\epsilon = 0.20\%$ の場合) が指数関数型に依存する際の第 1 期と第 2 期の活性化エネルギー差は約 $60 \sim 90 \text{ Kcal/mol}^{-1}$ となり、 α 鉄の自己拡散のための活性化エネルギー (73 Kcal/mol^{-1}) の値とはほぼ同等になっている。(5) 活性化エネルギー解析によって塑性ひずみ速度 ($\dot{\epsilon}_p$) の温度依存性は次式のように示すことができた。

$$\dot{\epsilon}_p = K_1 \exp(K_2 \sigma) \exp(-Q/RT)$$

$$\text{ただし, } Q = K_3 - K_4 \sigma$$

ここで、 σ は残留応力、 R はガス定数、 T は絶対温度、 Q は活性化エネルギー、 $K_1 \sim K_4$ は温度と応力に依存しない定数である。(6) 塑性ひずみ速度の温度依存性にもとづく表式から、残留応力の長時間予測が可能であることがわかった。

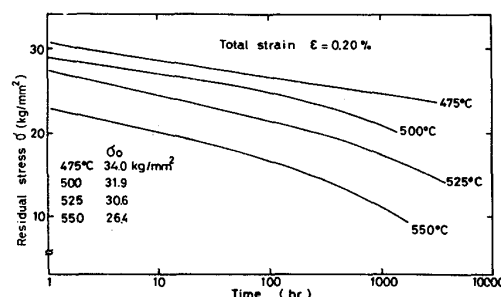


図 1. 残留応力と時間の関係

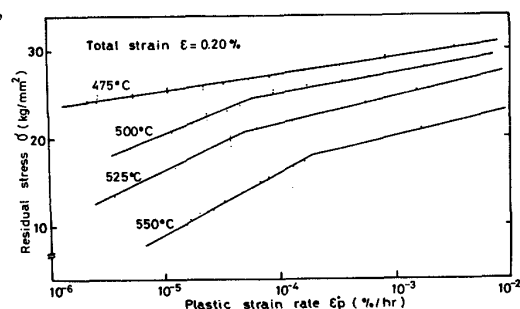


図 2. 残留応力と塑性ひずみ速度の関係

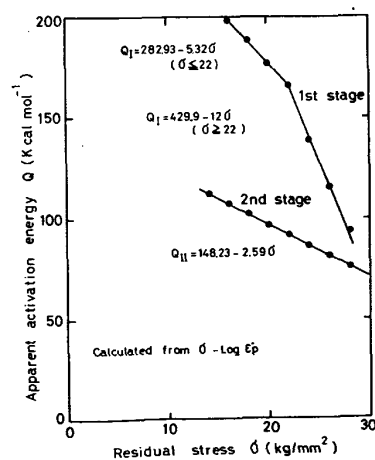


図 3. 活性化エネルギーの応力依存性