

1. 緒言 蒸気タービンの高温ボルトにおいては、使用中その締付力が低下する応力リラクセーションが起こり、再締付されるのが普通である。このため著者らは、高温ボルト材3鋼種について再締付(再負荷)リラクセーション挙動を明らかにし設計線図を提示してきた。また、再負荷を繰返すことによって、試験条件により材料が破壊することがあることがわかった。

そこで、19Cr-9Ni-1.4Mo-1.4W-Nb鋼高温ボルト材について、応力が所定残留応力値まで低下後に再負荷を繰返す再負荷リラクセーション試験を行い、再負荷を繰返すことによって生じた破壊について検討を行った。

2. 試験方法 供試材料は標記の鋼で、試験片形状及び試験機は既報告と同様である。

試験温度は650°Cとし、初期応力( $\sigma_0$ )は全ひずみ( $\epsilon_p$ )0.20%に対応する29.3 kgf/mm<sup>2</sup>とした。所定残留応力値( $\sigma_{Rj}$ )は、0.70~0.46 $\sigma_0$ の9水準とした。 $\sigma_0$ が $\sigma_{Rj}$ へ低下後に除荷を行い、塑性ひずみ( $\epsilon_p$ =瞬間塑性ひずみ+クリープひずみ)を測定した。つぎに再び上記の $\sigma_0$ 値に負荷し、再負荷リラクセーション曲線を求めるとともに、累積塑性ひずみ( $\Sigma\epsilon_p$ )を求めた。負荷回数(N)は最高66回である。

3. 試験結果と考察 試験結果の一例として、 $\sigma_{Rj}=0.75\sigma_0$ 及び $\sigma_{Rj}=0.46\sigma_0$ の場合の再負荷リラクセーション曲線を、Fig. 1(a)及び(b)にそれぞれ示す。 $\sigma_{Rj}$ が高応力( $\sigma_{Rj}=0.90\sigma_0$ ~ $0.75\sigma_0$ )の場合には、Fig. 1(a)に示すように $\sigma_0$ が $\sigma_{Rj}$ に低下した時の試験時間 $t_j$ はNが増すにつれて増加後あるN以上で減少していた。しかし、 $\sigma_{Rj}$ が低応力( $\sigma_{Rj}=0.46\sigma_0$ ~ $0.70\sigma_0$ )の場合には、Fig. 1(b)に示すようにNが増すにつれて減少するのみであった。そして、この条件では再負荷リラクセーション中あるいは $\sigma_0$ への再負荷中に破壊した。

本試験で得られた再負荷リラクセーション挙動について、前報告と同様の手法により解析を行った。Fig. 2に示す $\log t_j$ - $\log N$ の関係から、 $\sigma_0$ が $\sigma_{Rj}$ に低下するまでの $t_j$ に対する $\sigma_{Rj}$ 依存性を調べた。その結果次の式を得た。

$$\text{屈曲前 ; } t_j = 5.577 \times 10^9 \sigma_{Rj}^{1.725 + 7.252 \log \sigma_{Rj}} N^{-2.207} \quad (1-a)$$

$$\text{屈曲後 ; } t_j = 1.151 \times 10^4 \sigma_{Rj}^{2.780 + 1.781 \log \sigma_{Rj}} N^{-1.099} \quad (1-b)$$

ここで、 $\sigma_{Rj} = (\sigma_0 - \sigma_{Rj}) / \sigma_0$ である。屈曲後においてNが少ないうちは、(1)式より求めた推定値は実測値と比較的よく合うが、あるN以上になると合わなかった。これは材料の軟化に伴う破壊に関与しているためであると考えられた。

そこで、破壊条件を明らかにするために解析を行った。 $\sigma_{Rj}$ 、破壊時における負荷回数( $N_R$ )、累積塑性ひずみ( $\Sigma\epsilon_{PR}$ )、累積試験時間( $\Sigma t_{jR}$ )などについてそれぞれの間係を求め、よい相関が認められた $\log \sigma_{Rj}$ - $\log \Sigma t_{jR}$ 、 $\log N_R$ - $\log \Sigma\epsilon_{PR}$ 及び

$\log N_R$ - $\log \Sigma t_{jR}$  (Fig. 3)から次式

$$N_R = 6.047 \times 10^2 \sigma_{Rj}^{-1} (\Sigma\epsilon_{PR})^{0.739} (\Sigma t_{jR})^{-0.172} \quad (2)$$

を得た。実測値と(2)式より求められる推定値との比較のためのその相関をみたところ、データはFactor of 2以内でありよい結果が得られた。これにより、再負荷リラクセーションにおける破壊繰返し数 $N_R$ は、 $\sigma_{Rj}$ 、 $\Sigma\epsilon_{PR}$ 及び $\Sigma t_{jR}$ の間係であることが明らかになった。さらに、破壊と組織などの関係についても検討を加えた。文献 1)田中千秋,大場敏夫,材料,22(1980),1180; 2) *ibid.*, 22(1981), 447; 3) 日本材料学会第30期学術講演前集, (1981), 256; 4) 日本材料学会第19回高温強度シンポジウム前集, (1981), 151; 5) *Trans. NRIM*, 22(1979), 138.

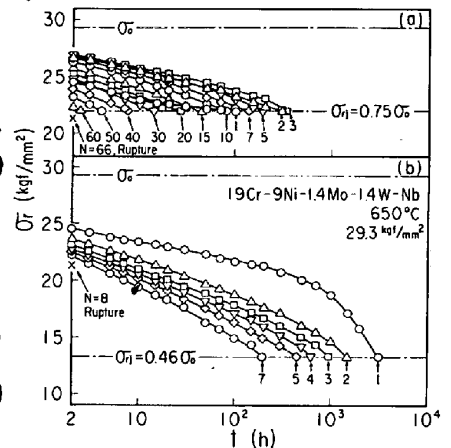


Fig. 1 Some examples of reloading stress relaxation curves.

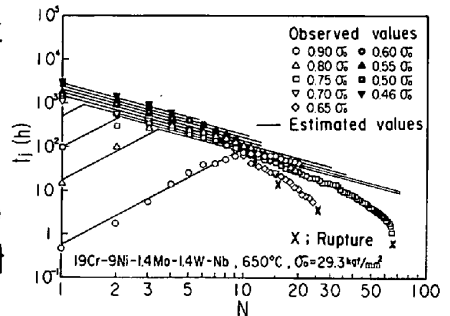


Fig. 2 Relations between testing time and number of loading.

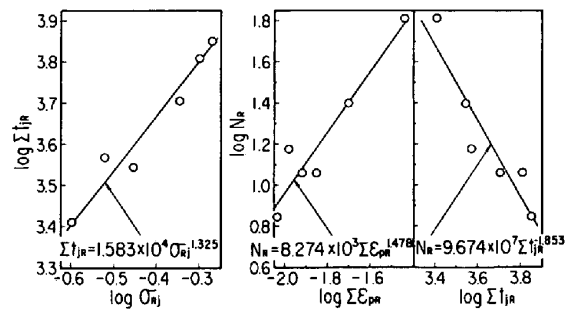


Fig. 3 Relations of each parameter at rupture.