

420 繰返し引張圧縮負荷および繰返しねじり負荷における SUS304 中空円筒試験片のクリープ疲労変形

近畿大学 時政勝行

1. 緒言

筆者は、引張圧縮—繰返しねじり負荷条件下のクリープ疲労試験が可能な試験装置を設置し、ひずみ範囲分割概念に基づく一般的な多軸クリープ疲労解析法の検討に着手している。前報¹⁾においては、引張圧縮—繰返しねじり負荷条件下のクリープ疲労試験結果をひずみ範囲分割概念に基づいて解析する場合の基本となるひずみ範囲分割について、その具体的な手法を検討した。

繰返し引張圧縮ひずみ波形、繰返しねじりひずみ波形として、単軸応力下のクリープ疲労試験で採用されている PP, PC, CP および CC 波形 (IJ 波形) を採用した場合、引張圧縮ひずみ波形と繰返しねじりひずみ波形双方において高速側のひずみ速度をクリープ変形が生じないひずみ速度以上に設定する必要がある。試験の途中でひずみ範囲分割のために挿入する高速負荷のひずみ速度もクリープ変形が生じないひずみ速度以上に設定する必要がある。すなわち、引張圧縮ひずみ波形 (全ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_t$ 、高速側ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_F$) と繰返しねじりひずみ波形 (全ひずみ範囲 $\Delta\gamma_t$ 、高速側ひずみ速度 $\dot{\gamma}_F$) とに位相差の無い比例負荷の場合においては $\dot{\epsilon}_F / \dot{\gamma}_F = \Delta\epsilon_t / \Delta\gamma_t$ の関係が成立するので、試験する $\Delta\epsilon_t$ 、 $\Delta\gamma_t$ の値によっては、例えば、 $\dot{\epsilon}_F$ をクリープ変形が生じない限界ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ 以上に設定しても $\dot{\gamma}_F$ が限界ひずみ速度 $\dot{\gamma}_{cr}$ より小さくなる可能性がある点に留意が必要である。

そこで、本報では、繰返し引張圧縮および繰返しねじりのそれぞれの場合について SUS304 中空円筒試験片のクリープ疲労変形に及ぼす温度とひずみ速度の影響を実験的に調べ、クリープ変形が生じない限界のひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ 、 $\dot{\gamma}_{cr}$ の温度依存性を明らかにし、引張圧縮—繰返しねじりクリープ疲労試験条件の設定法について検討した。

2. 実験方法

2・1 供試材および試験片形状 前報と同様、供試材は市販の SUS304 溶体化処理材丸棒 (直径 45mm) であり、これから外径 22mm、内径 20mm の平行部 30mm を有する中空円筒状試験片を切り出し用いた。

2・2 試験 クリープ疲労波形として CP 波形を選び、高速側ひずみ速度を $10^{-2}/s$ 一定とし、低速側ひずみ速度を $10^{-2}/s$ より遅くした CP1~CP6 の 6 種類の CP 試験を、大気中 700、725、750 および 800℃ で実施した。6 種類の CP 波形のひずみ速度条件を表 1 に示す。各ひずみ波形を繰返したときの非弾性ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_{in}$ あるいは $\Delta\gamma_{in}$ 中に占める $\Delta\epsilon_{cp}$ あるいは $\Delta\gamma_{cp}$ は、従来筆者らが行ってきたひずみ範囲分割手法²⁾により求め

た。すなわち、各ひずみ波形を 13 サイクル繰返し、13 サイクル終了直前に応力が圧縮から引張に変化する瞬間に高速ひずみ速度で変形させることにより得られた応力ひずみ関係より求めた。なお、繰返し引張圧縮ひずみ波形の全ひずみ範囲は $\Delta\epsilon_t = 1\%$ 、繰返しねじりひずみ波形の全ひずみ範囲は $\Delta\gamma_t = 1.732\%$ および 2% として試験した。 $\Delta\gamma_t = 1.732\%$ および 2% はそれぞれ相当ひずみおよび最大主ひずみ 1% に相当するひずみ条件である。

Table 1 Slow and fast strain rates, $\dot{\epsilon}_1$ and $\dot{\epsilon}_2$, or $\dot{\gamma}_1$ and $\dot{\gamma}_2$, of each CP loading

Waveform	$\dot{\epsilon}_1$ or $\dot{\gamma}_1$ (1/s)	$\dot{\epsilon}_2$ or $\dot{\gamma}_2$ (1/s)
CP1	0.008	0.01
CP2	0.005	
CP3	0.0025	
CP4	0.001	
CP5	0.0005	
CP6	0.0001	

3. 実験結果とその解析

3・1 ひずみ範囲分割結果 繰返し引張圧縮の場合のひずみ範囲分割結果に及ぼす温度およびひずみ速度の影響を図 1 に示す。また、繰返しねじりの場合の同様な結果を図 2 および図 3 に示す。各図において縦軸は非弾性ひずみ範囲に占めるクリープひずみ成分の割合 F_{cp} であり、図 1 の場合 $F_{cp} = \Delta\epsilon_{cp} / \Delta\epsilon_{in}$ であり、図 2 および図 3 の場合 $F_{cp} = \Delta\gamma_{cp} / \Delta\gamma_{in}$ である。

3・2 クリープひずみが生じない限界ひずみ速度

図 1~図 3 よりクリープひずみが生じない限界のひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ 、 $\dot{\gamma}_{cr}$ の温度依存性を求めることができる。図 4 に結果をまとめて結果を示す。

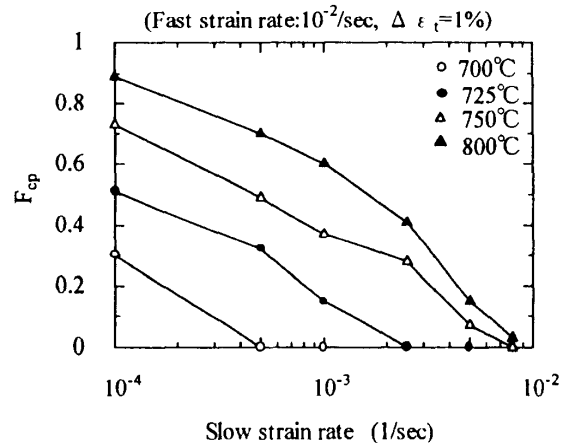


Fig.1 Effect of temperature and slow strain rate $\dot{\epsilon}_1$ on F_{cp} ($= \Delta\epsilon_{cp} / \Delta\epsilon_{in}$)

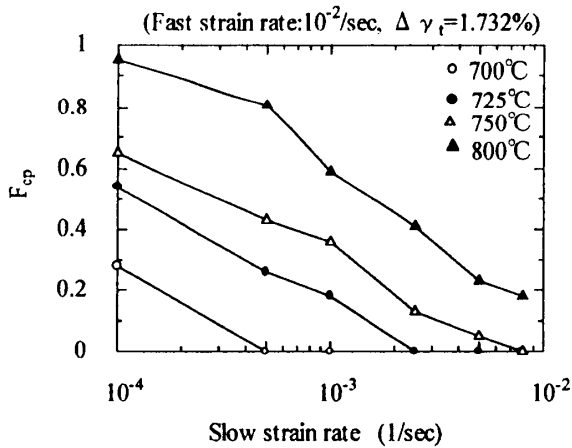


Fig.2 Effect of temperature and slow strain rate $\dot{\gamma}_l$ on F_{cp} ($=\Delta\gamma_{cp}/\Delta\gamma_{in}$)

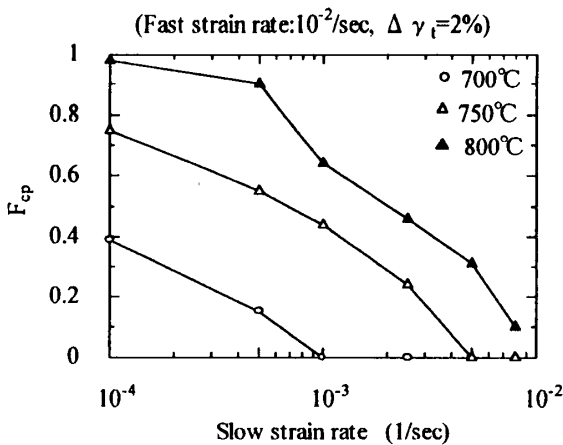


Fig.3 Effect of temperature and slow strain rate $\dot{\gamma}_l$ on F_{cp} ($=\Delta\gamma_{cp}/\Delta\gamma_{in}$)

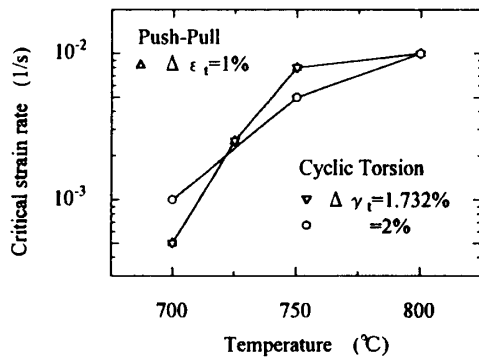


Fig.4 Effect of temperature on the critical strain rates $\dot{\epsilon}_{cr}$ and $\dot{\gamma}_{cr}$ beyond which no creep strain is produced

図4において、 $\Delta\epsilon_t=1\%$ の $\dot{\epsilon}_{cr}$ が、 $\Delta\gamma_t=1.732\%$ の繰返しねじりひずみ波形(相当全ひずみ範囲1%)の $\dot{\gamma}_{cr}$ に等しいことは注目される。 $\Delta\gamma_t=2\%$ の場合(最大主ひずみ範囲1%に相当)の $\dot{\gamma}_{cr}$ は前2者と異なっているもののそれほど大きな差ではない。ただし、温度800°Cでの $\dot{\epsilon}_{cr}$ 、 $\dot{\gamma}_{cr}$ が $10^{-2}/s$ となっているのは、高速側ひずみ速度を試験機の性能上 $10^{-2}/s$ としたため

ある。700°C~750°Cにおける傾向から見て温度800°Cでの $\dot{\epsilon}_{cr}$ 、 $\dot{\gamma}_{cr}$ は $10^{-2}/s$ よりももっと高速になるものと思われる。

以上より、限界ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ は、相当ひずみが等しい場合の限界せん断ひずみ速度 $\dot{\gamma}_{cr}$ に等しいと言え、このことは繰返しねじりの試験を行うことなく $\dot{\gamma}_{cr}$ を決定できることを示唆するものである。

4. 考察

4・1 限界ひずみ速度と温度との関係式 図4より、700°C~750°Cのデータをもとに、限界ひずみ速度と温度 T (絶対温度K)の関係式を求めると次の近似式が得られる。

$$\ln(\dot{\epsilon}_{cr}) \text{ or } \ln(\dot{\gamma}_{cr}) = 49 - \frac{55000}{T} \quad (1)$$

4・2 クリープ疲労試験条件の決定方法 引張圧縮(全ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_t$ 、高速側ひずみ速度 $\dot{\epsilon}_F$)と繰返しねじり(全ひずみ範囲 $\Delta\gamma_t$ 、高速側ひずみ速度 $\dot{\gamma}_F$)とに位相差の無い比例負荷の場合においては、 $\dot{\epsilon}_F/\dot{\gamma}_F = \Delta\epsilon_t/\Delta\gamma_t$ の関係を考慮して $\dot{\epsilon}_F$ 、 $\dot{\gamma}_F$ をクリープ変形が生じないひずみ速度以上に設定する必要がある。前項で求めた式(1)を用いれば、次のように試験温度 T と高速側ひずみ速度を決定することができる。すなわち、 $\Delta\epsilon_t/\Delta\gamma_t = \alpha \leq 1$ のとき、次式

$$\dot{\gamma}_F \leq 10^{-2} \text{ および } \ln(\alpha\dot{\gamma}_F) \geq 49 - \frac{55000}{T} \quad (2-1)$$

を満足するように T 、 $\dot{\gamma}_F$ を決め、 $\dot{\epsilon}_F = \alpha \cdot \dot{\gamma}_F$ とする。 $\alpha > 1$ のとき、次式

$$\dot{\epsilon}_F \leq 10^{-2} \text{ および } \ln(\dot{\epsilon}_F/\alpha) \geq 49 - \frac{55000}{T} \quad (2-2)$$

を満足するように T 、 $\dot{\epsilon}_F$ を決め、 $\dot{\gamma}_F = \dot{\epsilon}_F/\alpha$ とする。なお、上記の式中の定数 10^{-2} は試験可能な最高ひずみ速度であり、試験機の性能に依存する定数である。

5. 結言

繰返し引張圧縮および繰返しねじり負荷におけるSUS304 中空円筒試験片のクリープ疲労変形に及ぼす温度とひずみ速度の影響を実験的に調べ、以下の知見を得た。

1. 繰返し引張圧縮の場合のクリープ変形が生じない限界のひずみ速度 $\dot{\epsilon}_{cr}$ は、相当ひずみが等しい繰返しねじりの場合の限界ひずみ速度 $\dot{\gamma}_{cr}$ に等しい。
2. $\dot{\epsilon}_{cr}$ および $\dot{\gamma}_{cr}$ の温度依存性は次式で表示できる。

$$\ln(\dot{\epsilon}_{cr}) \text{ or } \ln(\dot{\gamma}_{cr}) = 49 - \frac{55000}{T}$$

また、上記知見に基づき、具体的かつ定量的な引張圧縮—繰返しねじりクリープ疲労試験条件の設定法を提示した。

参考文献

- 1) 時政勝行, 日本材料学会第37回高温強度シンポジウム前刷集, 131(1999).
- 2) 平川賢爾, 時政勝行, 住友金属, 30, 287(1978).