

201 銅単結晶のサイクリッククリープにおける温度の影響

金沢大 院 ○豊本 修
 金沢大 工 北 和久
 金沢大 工 兼子佳久
 金沢大 工 門前亮一
 金沢大 工 北川和夫

I. 緒言

サイクリッククリープとは繰返し負荷によって引張または圧縮のひずみを蓄積しながら材料が変形する過程である。また、サイクリッククリープは同じ最大応力下の静クリープ比べてクリープ速度が速いものと遅いものに分類される⁽¹⁾⁻⁽³⁾。

ところで、サイクリッククリープ中ではしばしば定常状態に達した後において不連続な塑性変形が生じる。これはstrain burstと呼ばれ、時間に対するひずみの関係において、ひずみの急激な増加として観察される。Wangら⁽⁴⁾は、Al-Mg多結晶において高温および中間温度における規則的なstrain burstはある温度範囲のみで観察されることを報告しており、strain burstが実験温度に依存して発生することが期待される。

本研究では、サイクリッククリープでのクリープ速度が静クリープでのそれに比べて速くなる条件を調査することを目的として、静およびサイクリッククリープ試験を銅単結晶において行った。特にクリープひずみとstrain burstとの関係に着目し、実験温度を室温から200℃まで変化させることによって異なるstrain burstの発生条件下におけるサイクリッククリープ挙動を比較した。

II. 実験方法

無酸素銅（純度99.99%）からBridgman法により単結晶を育成し、その単結晶から単一すべり系（<123>応力軸）を有する平滑試験片を作製した。クリープおよびサイクリッククリープ試験は油圧式試験機を用いて真空中で行った。実験温度は室温、150℃および200℃である。サイクリッククリープの負荷応力はFig.1のように最大応力と最小応力の保持時間が等しい台形波である。また、最小応

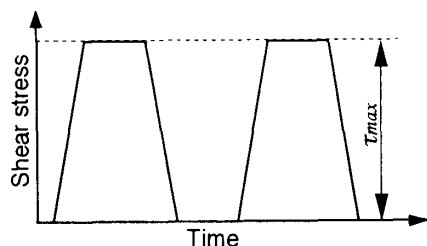


Fig.1 The stress wave form used in the cyclic tests.

力は0で、最大および最小荷重時の荷重の保持時間は10sである。

III. 実験結果および考察

1. クリープ曲線の特徴

静クリープ試験において得られたクリープ速度 $\dot{\epsilon}$ と時間 t との関係をFig.2に示す。静クリープでは、クリープ速度は時間とともに減少し、(1)式で近似できることが判明した。

$$\dot{\epsilon} = A n^{-t} \quad (1)$$

ここで、 A および n は定数である。また、クリープ速度は温度の上昇および負荷応力の増大につれて顕著に増加した。

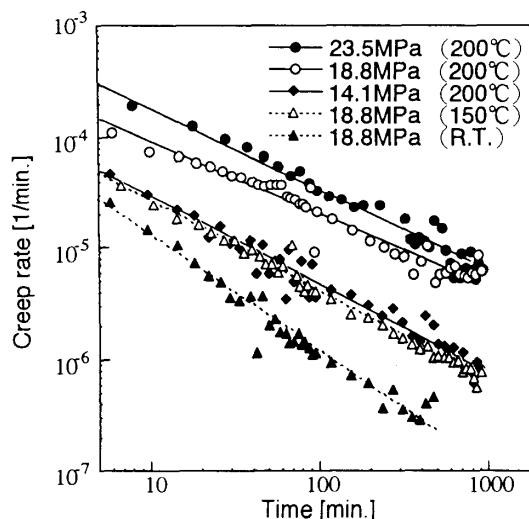


Fig.2 Relationship between cyclic creep rate and time under static creep tests.

サイクリッククリープ試験では、低温側と高温側とでは異なるクリープ挙動が観察された。室温では繰返し負荷につれてクリープひずみはほぼ一定値に飽和した。高温側で観察された特徴的なクリープ曲線をFig.3に示す。クリープひずみは、室温におけるそれとは異なり、時間とともに加速的に増加した。より短期間のクリープひずみの変化に着目すると、Fig.3に見られるようにその変化は不連続であり、急激にクリープひずみが増加する領域、いわゆるstrain burstが存在した。このstrain burstは室温では観察されなかった。高温側においてみられたクリープ

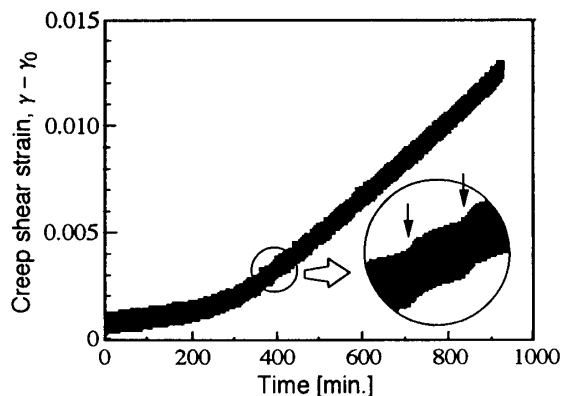


Fig.3 A cyclic creep curve under a cyclic peak stress of 18.8MPa at 200°C. Arrows indicate discontinuous increase in shear strain.

ひずみの加速的な増加はこのstrain burstが関与していると考えられる。

2. サイクリッククリープにおける最大応力の影響

高温側のサイクリッククリープにおいても、クリープ挙動は負荷応力に依存して変化した。Figure4に200°Cにおけるサイクリッククリープで得られたクリープ速度と時間との関係を示す。 $\tau_{max} = 9.4\text{MPa}$ におけるクリープ速度は、室温におけるそれと同様に、時間とともに減少した。この負荷応力下では、サイクリッククリープのクリープ速度は静クリープのそれに比べて遅かった。一方、 τ_{max} が9.4MPaより大きな場合では、クリープ速度は時間とともに増加した。その増加の程度は負荷応力が大きいほど高かった。上述したようにクリープひずみの増加はstrain burstが関与しているので、Fig.4に見られるクリープ速度の負荷応力とともに増加はstrain burstの発生頻度の増加によるものと考えられる。これらの負荷応力下で

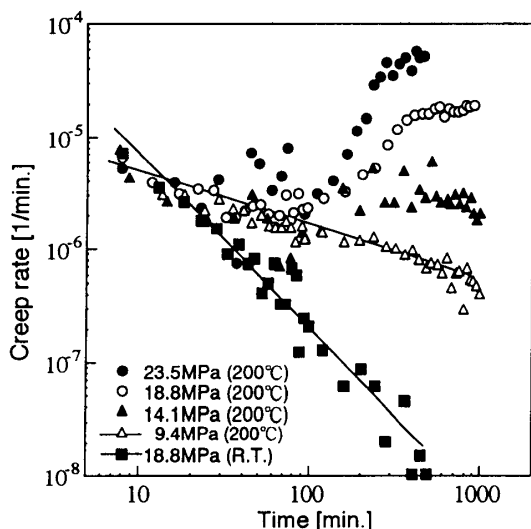


Fig.4 Relationship between cyclic creep rate and time under cyclic creep tests.

はサイクリッククリープのクリープ速度は静クリープのそれに比べて速く、ある負荷荷重以上でクリープ速度は荷重繰返しによって加速されることが示唆される。

Figure 5に150°Cおよび200°Cにおける静クリープとサイクリッククリープの定常クリープ速度と最大応力との関係を示す。200°Cのほうが全体的にクリープ速度は速かった。両方の温度において、低応力では静クリープのクリープ速度がサイクリッククリープのそれより大きかったのに対し、高応力では、サイクリッククリープのクリープ速度が大きかった。サイクリッククリープにおけるクリープ速度が静クリープにおけるそれに比べ速くなる原因がstrain burstであると考え、クリープ速度が逆転する応力がstrain burst発生のしきい値であるとみなすことができる。クリープ速度が逆転する応力は150°Cおよび200°Cでそれぞれ約20MPaおよび約11MPaであり、それぞれがstrain burst発生に対する応力のしきい値であると考えられる。

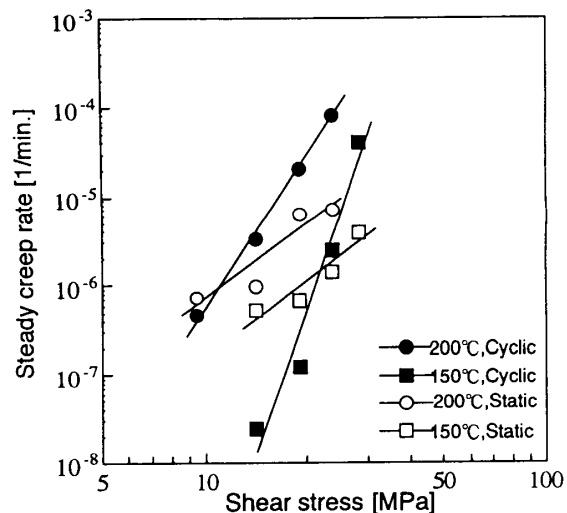


Fig.5 Relationship between steady creep rate and maximum shear stress in static and cyclic creep.

IV. 結言

銅単結晶を用いて、室温から200°Cの温度範囲でサイクリッククリープ試験を行なった結果、Strain burstの発生条件は、応力と温度に強く依存し、それらの増加とともにstrain burstによるクリープひずみの増加は大きくなることが判明した。

参考文献

- (1) D.Shewtly and M.Meshii, Metall Trans., 6A, 349(1975).
- (2) K.T.Hong, J.K.Lee, S.W.Nam, J.Mater.Sci., 23, 2051(1988).
- (3) F.Lorenzo and C.Laird, Acta metall., 32, 671(1984).
- (4) Z.Yang, Z.Wang, X.Hu and Z.Wang, Acta metall., 40, 1739(1992).