

広島大学工学部

吉田総仁 °近藤丈
菊池義和 大森正信

1. 緒言

近年、構造物が塑性変形やラチェット変形、クリープ変形を生ずるような厳しい条件下で使用される機会が多くなってきている。しかし、塑性変形とラチェット変形、クリープ変形は、それぞれ単独には多くの研究が成されてきたが、それらの相互関係については十分明らかにされていない。

そこで本報告では、室温で顕著なクリープ変形を生ずるSUS304鋼を用いて、室温における繰返し応力下の粘塑性変形すなわち塑性ひずみ、ラチェットひずみおよびクリープひずみの累積挙動について実験的に検討した。

2. 実験方法

試験片材料はオーステナイト系ステンレス鋼SUS304であり、直径22mmの丸棒を図1に示す砂時計型に切削加工し、1050℃で30分間保持したのち空冷したものである。表1に試験片の化学成分を示す。

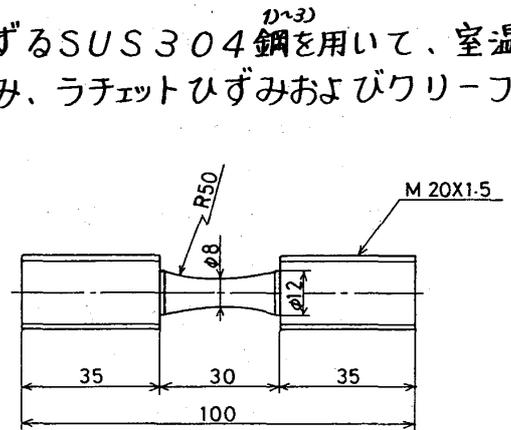


図1 試験片形状

実験は試験片に軸力を加え、径方向変位を測定することにより行った。実験は真応力制御で行い、応力を変化させる場合には応力速度を20MPa/secとした。

表1 試験片の化学成分 (%)

繰返し応力下の粘塑性ひずみを、時間に依存しない単調負荷によるもの、繰返し変形によって生ずるものおよび応力一定のもとで時間とともに進行するものに分けて考えるため、図2に示すように全ひずみ量を弾性ひずみ量 ϵ^e 、塑性ひずみ量 ϵ^p 、機械的ラチェットひずみ量 ϵ^r 、およびクリープひずみ量 ϵ^c に分解する。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Fe
0.08	1.0	2.0	0.04	0.03	8-10.5	18-20	残り

3. 実験結果および考察

3.1 クリープ予変形が塑性変形に与える影響

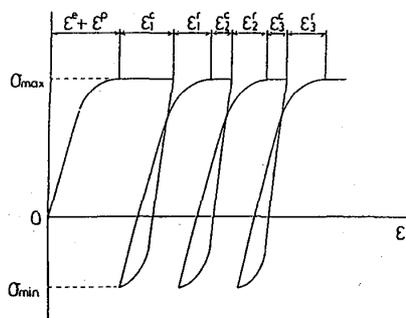


図2 繰返し負荷下の粘塑性変形

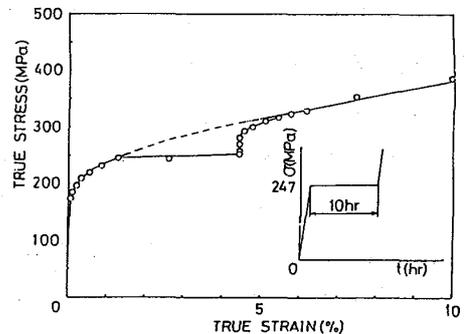


図3 クリープ予変形が塑性変形に与える影響

図3は一定応力247MPaで10時間保持したのち単軸引張りの応力-ひずみ曲線である。これより、クリープ予ひずみ後の引張りにおける応力-ひずみ曲線は、焼なまし材における単軸引張りの応力-ひずみ曲線に一致することがわかる。すなわち、クリープひずみによる材料の加工硬化は、塑性予ひずみによるそれと同じ効果を持つ。

3.2 ラチェット予変形が塑性変形に与える影響

図4は最大応力 $\sigma_{max}=250MPa$ 、応力比(最小応力/最大応力) $R=-0.4$ で1000回繰返したのち単軸引張りを行った応力-ひずみ曲線である。これより、ラチェット予ひずみ後の引張りは、焼なまし材の応力-ひずみ曲線よりわずかに小さく、ほぼ平行になることがわかる。

3.3 クリープ・塑性予変形がクリープ変形に与える影響

図5(a)は一定応力 $\sigma_0=189MPa$ で1時間保持したのち、 σ_0 より高い一定応力 $\sigma_0=252MPa$ で10時間保持したときのクリープひずみ-時間曲線である。図5(b)は一定応力 $\sigma_0=217MPa$ で10時間保持したのち σ_0 より高い一定応力 $\sigma_0=245MPa$ で10時間保持したときのクリープひずみ-時間曲線である。ただし、流動応力を全ひずみ ϵ の関数

$$\sigma = f(\epsilon) \quad (1)$$

と仮定すると、 σ_0 、 σ_0' は、

$$\sigma_0 \geq f(\epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon^c) \quad (2)$$

$$\sigma_0' < f(\epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon^c) \quad (3)$$

を満たす。ただし、 ϵ^e 、 ϵ^c はそれぞれ第1段保持時間中のクリープひずみである。図5(a)、(b)に示すいずれの場合も変動応力下のクリープ変形は、いわゆるひずみ硬化則で表わすことができる。

3.4 ラチェット変形とクリープ変形の相関性

図6は最大応力 $\sigma_{max}=252MPa$ 、応力比 $R=-0.4$ 、保持時間1分の台形波の応力信号を与えたときの(クリープひずみ ϵ^c +ラチェットひずみ ϵ^r)と繰返し数 N の関係を示す。これは保持応力 $\sigma=248MPa$ のクリープひずみ-時間曲線と全く一致している。これより、台形波の保持時間に出るクリープひずみによる材料の硬化がラチェットひずみの発生を抑制していることがわかる。

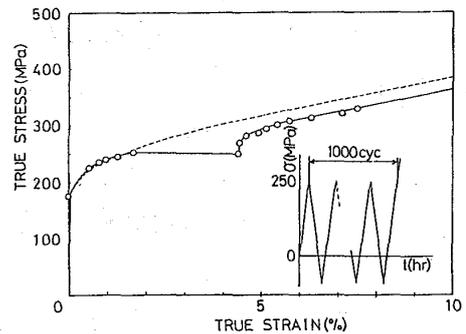


図4 ラチェット予変形が塑性変形に与える影響

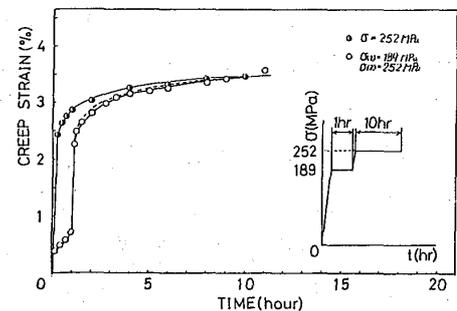


図5(a) クリープ・塑性予変形がクリープ変形に与える影響

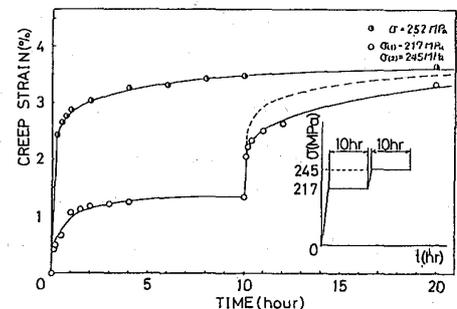


図5(b) クリープ予変形がクリープ変形に与える影響

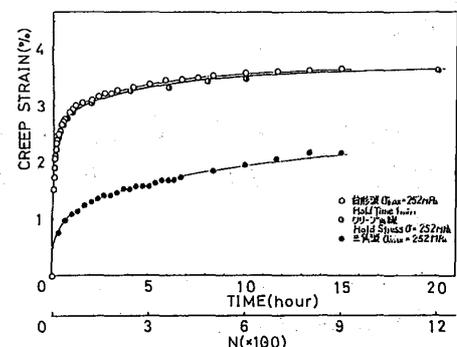


図6 ラチェット変形とクリープ変形の相関性

3.5 クリープ予変形がラチェット変形に与える影響

図7,8は一定応力 $\sigma_0 = 252\text{MPa}$ で10時間保持したのち引続いて σ_0 を最大応力として応力比 $R = -0.4$ の三角波の応力信号で500回繰返し、次に同じ応力比で最大応力 $\sigma_{2\text{max}} = 270\text{MPa}$ で500回、 $\sigma_{2\text{max}} = 330\text{MPa}$ で500回繰返したときの応力-ひずみ曲線とラチェットひずみ繰返し数曲線である。ただし、

$$\sigma_{2\text{max}} < f(\epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon_{\omega}^c + \epsilon_{\omega}^r) \quad (4)$$

$$\sigma_{2\text{max}} \geq f(\epsilon^e + \epsilon^p + \epsilon_{\omega}^c + \epsilon_{\omega}^r + \epsilon_{\omega}^s) \quad (5)$$

を満たす。ここで $\epsilon_{\omega}^c, \epsilon_{\omega}^r, \epsilon_{\omega}^s$ はそれぞれ σ_0 に対応するクリープひずみ、ラチェットひずみ、 $\sigma_{2\text{max}}$ に対応するラチェットひずみを表わす。図7より、 $\epsilon_{\omega}^c, \epsilon_{\omega}^s \approx 0$ となっており、クリープ予ひずみ後塑性ひずみを生じない最大応力レベルではラチェットひずみはほとんど生じないことがわかる。これは、塑性予変形後最大応力を減少させた状態における繰返し応力下の現象と同じである。また ϵ_{ω}^r は、クリープひずみの影響を示さない。このことからクリープひずみによる加工硬化は、同一塑性予ひずみによるものと同じ効果を示している。

3.6 ラチェット予変形がクリープ変形に与える影響

図9は、最大応力 $\sigma_0 = 248\text{MPa}$ 、応力比 $R = -0.4$ の三角波で500回繰返したあと σ_0 で10時間保持したのち $\sigma_2 = 268\text{MPa}$ で10時間保持したときの応力-ひずみ曲線である。図8からラチェット予ひずみが同量のクリープひずみと同じ硬化をもたらすことがわかる。

4. 結言

SUS304鋼の室温における塑性変形とラチェット変形、クリープ変形挙動について、それらの相互関係を実験的に明らかにした。

謝辞

実験装置の製作に多大な御協力をいただいた光高圧機器(株)の小泉光男氏に深く感謝いたします。

文献

- 1) E. Kremple *J. Mech. Phys. of Solids*, 27(1979), 363
- 2) D. Kujawskiほか2名 *J. Mech. Phys. of Solids*, 28(1980), 129
- 3) 新津ほか1名 日本機械学会講演論文集(関西支部第58期), 1983

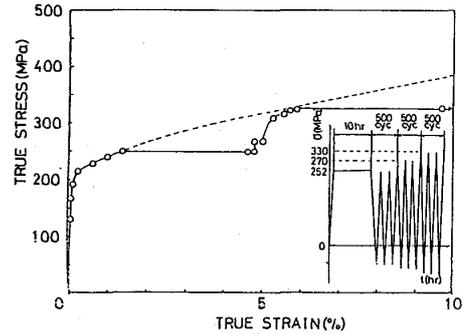


図7 クリープ予変形がラチェット変形に与える影響

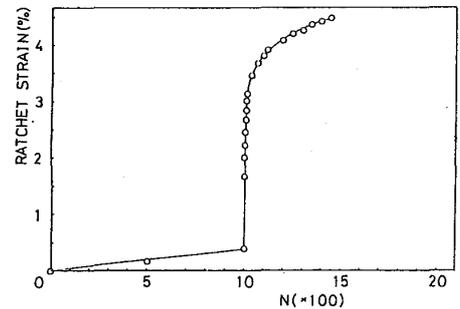


図8 クリープ予変形後のラチェットひずみと繰返し数の関係

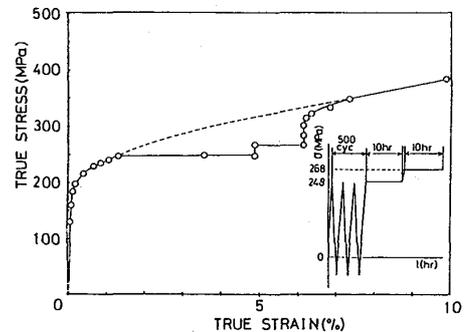


図9 ラチェット予変形がクリープ変形に与える影響

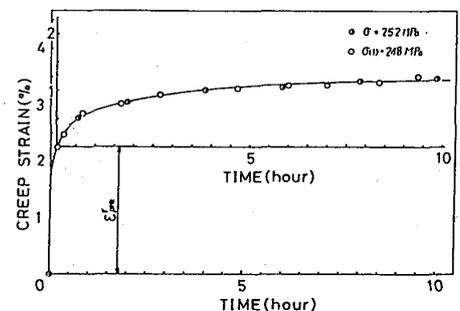


図10 ラチェット予変形後のクリープひずみと時間の関係