温度変動下のクリープ*

田中吉之助** 大南正瑛**

Creep under Varying Temperatures

by

Kichinosuke TANAKA and Masateru ŌNAMI
(Kyōto University)

Ordinary creep tests are usually performed at constant temperatures. A creep test under varying temperatures has not been studied in details. It is well-known that there are many cases where creep in the machine parts is caused under varying temperatures.

Thus employing 0.14% carbon steel, the authors investigated the creep behaviour under varying temperatures. It is found that the creep behaviour in such a condition can be predicted from the results obtained at constant temperatures, using the assumption that the idea of mechanical equation of state is applicable in this case, that is, the creep strain ϵ is determined by the strain rate $d\epsilon/dt$ and the temperature T shown as

$$f(\epsilon, d\epsilon/dt, T) = 0.$$

(Received March 21, 1957)

1. 緒 言

近年、金属材料の高温性質に関する研究が盛んになるとともに、金属のクリープ性質について種々研究が重ねられてきた。そうして、クリープ試験は一定温度、一定応力のもとで試験を行うのが通常である。一方、実際の機械部品の受ける応力、温度は必ずしも一定でなく変動するものであり、したがって、このような場合のクリープ挙動を把握することは機械設計上、必須の事柄である。

応力変動下のクリープについては、すでに¹⁾2, 3の結果を発表しているが、本論文は温度のみ変動する場合のクリープについて実験的考察を行い、通常のクリープ試験結果より、温度変動下のクリープ挙動を近似的に求める方法を述べる。

2. 試験方法

1) 試験材料および試験片

試験材料は0.14% Cの低炭素鋼で組成をTable 1に示す。この材料の常温強度は降伏点23.7kg/mm²、抗張力38.0kg/mm²、破断伸び39.0%である。

試験片は直径6mm、標点距離50mmで、直径1"

Table 1. Chemical composition (%).

C	Si	Mn	P	S	Fe
0.14	0.29	0.41	0.010	0.029	Remainder

の母材から切り出し、加工後900°Cで1時間の真空焼鈍をしたものである。

2) 試験機および伸び測定装置

試験機はレバー比20の単一挺子式の引張クリープ試験機である。なお、本実験においては荷重一定クリープ方式ではなく、応力一定クリープ方式を採用するために、主重錘のほかに補助重錘を加え、試験片の伸びに対応して補助の附加重錘を減じ、試験片にかかる応力を一定にした。

試験片の伸びを測定するために、試験片の両端部に設けられたカラーにそれぞれ引出棒を試験片に平行に両側に取り付け、その相対的変位を炉外において1/100mm目盛のダイヤルゲージを用いて測定した。

3) 加熱装置および温度制御装置

加熱装置としては、ニクロム線による電気炉を用いた。この炉には素焼円筒に加熱用ニクロム線とともに白金線が巻かれており、炉の温度変化によって白金線の温度が変わるから、これによる白金線の抵抗変化を増幅し、サイラトロン²⁾の放電電流を増減して主回路の電流量を調節し、炉温度を一定に保つようにしている。温度変動を与える方法として、温度を急速に上昇せしめるにはサイラトロン回路を切って炉に一時的に過剰電流を流し、温度を急速にさげるためには炉電流を切って温度を下降せしめた。

また、温度測定にはクロメル-アルメル熱電対を用い、温度計としては電位差計式温度計を用いた。

4) 試験条件

* 原稿受付 昭和32年3月21日 昭和32年3月21日西原教授退官記念講演会にて発表

** 正員 京都大学工学研究所

負荷応力 17.0 kg/mm^2

温度 a) 500°C 一定

b) 450°C 一定

c) 425°C 一定

d) $450^\circ\text{C} \rightarrow 500^\circ\text{C} (45 \text{ 分間}) \rightarrow 450^\circ\text{C}$

$\epsilon = 2.1\%$ $\epsilon = 3.6\%$

e) $450^\circ\text{C} \rightarrow 475^\circ\text{C} (720 \text{ 分間}) \rightarrow 450^\circ\text{C}$

$\epsilon = 2.0\%$ $\epsilon = 4.3\%$

f) $450^\circ\text{C} \rightarrow 425^\circ\text{C} (720 \text{ 分間}) \rightarrow 450^\circ\text{C}$

$\epsilon = 2.3\%$ $\epsilon = 2.3\%$ *

* g) $450^\circ\text{C} \rightarrow 475^\circ\text{C} (720 \text{ 分間})$

$\epsilon = 2.1\%$

$\rightarrow 425^\circ\text{C} (720 \text{ 分間}) \rightarrow 450^\circ\text{C}$

$\epsilon = 3.7\%$ $\epsilon = 3.7\%$

の7種類で前3者は普通のクリープ試験であり、後4者は温度変動クリープである。ただし、かっこ内の時間は昇温（または降温）を始めたときより降温（または昇温）を始めたときまでの時間を示し、矢印の下の歪の値は温度変化を与えたときの歪を示す。 **

Fig. 1. The relation between strain ϵ and time t .

** 3. 試験結果

試験条件 a), b), c) のクリープ曲線および歪速度～時間曲線を Fig. 1 および Fig. 2 に示す。

前報告にも述べたように、応力一定のとき、負荷時間 t における歪速度 $d\epsilon/dt$ と温度 T (絶対温度) との間には次式で表わされる関係がある。

$$d\epsilon/dt = A \cdot \exp(-K/T) \quad (1)$$

ここで A は応力および時間の関数であり、 K は応力の関数である。

ϵ を%, t を min., T を絶対温度にとって本材料に対して応力 $\sigma = 17.0 \text{ kg/mm}^2$ における A , K を求めると(1)式は次のように書ける。

$$d\epsilon/dt = 3.24 \times 10^{14} t^{-0.66}$$

$$\times \exp(-2.66 \times 10^4/T) \quad (2)$$

また、全歪は瞬間歪とクリープ歪とにわけて、この材料について次の数値を得た。

$$\epsilon = 8.29 \exp(-1.55 \times 10^3/T)$$

$$+ 9.52 \times 10^{14}$$

$$\times \exp(-2.66 \times 10^4/T) \quad (3)$$

Fig. 1 および Fig. 2 に示す破線は(3)式および(2)式を用いて

Fig. 2. The relation between strain rate $d\epsilon/dt$ and time t .

計算したものである。

次に、試験条件 (d), (e), (f), (g) について得たクリープ曲線をそれぞれ Fig. 3, 4, 5, 6 の実験点および実線にて示す。

このときの温度波形がいかなるものであるかを試験条件 (d), (e), (g) について Fig. 7, 8, 9 の白丸点にて示している。ただし、横軸は試験開始時よりの経過時間 t である。なお、試験条件 (f) については省略する。

4. 考 察

本研究では、上述のような温度波形の温度変化をなすときに、そのときに生ずるクリープ変形をいかに取り扱うべきかを明らかにすることを目的としているために、この論文ではクリープ変形が

$$f(\sigma, \varepsilon, d\varepsilon/dt, T) = 0 \quad (4)$$

によって規定されるものとの仮定のもとに考察を進める。いま σ は一定であるから、

$$f(\varepsilon, d\varepsilon/dt, T) = 0 \quad (4')$$

で表わされるものとする。この考えによって (2) 式より各温度変化の場合の歪速度を求めてみると、Fig. 7, 8, 9 中の破線のようになり、これは図中の黒点で示した実験点とかなりよく合致している。また、(3) 式を用いて全歪を求めると、Fig. 3, 4, 5, 6 中の破線のようになる。これは必ずしも実験値ときわめてよい一致は示さないが、(4') 式による近似推定法を用いることを示している。

なお、(2) 式および (3) 式によって計算した値は、いずれ

も第 1 期クリープの範囲についての値であるから、定常クリープがかなり顕著となる範囲についてこの方法を拡張使用し、これによってその適否をいうことは必

Fig. 3. The relation between ε and elapsed time t .

Fig. 4. The relation between strain ε and elapsed time t .

Fig. 5. The relation between strain ε and elapsed time t .

ずしも当を得ていない。しかし、この場合は一応歪および歪速度が (2) 式および (3) 式で表わされるものとして取り扱ったものである。

5. 結 論

0.14%C鋼について 425~500°C の間の特定の温度において、温度変動がある場合のクリープについて実験を行った結果、その歪速度は、その温度とその歪とによって決定されるとして、一定温度クリープ試験結果をもととして計算した場合と大差を生じない

Fig. 6. The relation between strain ϵ and elapsed time t .

Fig. 7. The relation between elapsed time t and temperature or strain rate.

ことを確かめた。ゆえに、この研究の実験範囲は必ずしも広範ではないが、温度が変動する場合のクリープ変形は上述の方法によって推定することができる。終りに、本研究の実験に協力された京都大学学生坂戸瑞根君の労を多とするものである。

注：一

- 1) たとえば, T. Nishihara, S. Taira, K. Tanaka and K. Ōji, Technical Reports of the Engineering Research Institute, Kyoto University, Vol. 6, No. 7, p. 127
- 2) 西原, 平, 田中, 弘中, 材料試験, 2巻, 3号, 47 ページ (昭28)
- 3) 西原, 平, 田中, 大南, 材料試験, 5巻, 36号, 26 ページ (昭31)
- 4) 西原, 平, 田中, 大南, 機械学会論文集, 23巻, 127号, 154ページ (昭32)

Fig. 8. The relation between elapsed time t and temperature or strain rate.

Fig. 9. The relation between elapsed time t and temperature or strain rate.