論文

低炭素鋼の応力休止を与えた場合のクリープ破断*

小寺 沢 良 一** 野々村 泰 三***

Creep Rupture Test of a Low Carbon Steel under Interrupted Loading

by

Ryoichi KOTERAZAWA and Taizo NONOMURA

(Kyoto University)

(Doshisha University)

Creep rupture tests under interrupted loading were carried out with a low carbon steel at a temperature of 450°C. The load was applied once a day for the period of one tenth of rupture under continuous loading. Transient increase of creep rate was observed at the beginning of every loading interval through all stages (the 1st, 2nd and 3rd stages) of creep. As the results of this increase of strain rate, the rupture life under the interrupted loading was somewhat less than under the continuous loading, although the difference is practically negligible except when it is under high stress level. The increase of creep rate seems to result from the softening of the material during the unloading interval rather than recovery. (Received June 7, 1960)

1. 緒 言

高温において使用される機械部分の設計に際して、その材料のクリープ強度を知ることが重要なことは云うを待たないところであって、以前より一定荷重の下における静クリープ試験が盛んに行なわれ、多くの実験結果が報告されている。しかし、実際に機械部分の受ける荷重は運転休止、負荷の変動などのためときによって異なった値を持つのが一般である。これに関連して、応力休止を与えた場合のクリープ現象については、亜鉛、低炭素鋼その他について研究が行なわれ、応力休止中に生ずる回復のために、再負荷直後において、休止直前に比べてクリープ速度がかなり大きく、そのため若干のひずみの増加を生ずることが報告されている^{1)~4)}。しかし、これらの研究は主として第1期および第2期クリープ段階におけるもので、このようなひずみの増加が以後の変形にどのような影響を与え、破断寿命にいかなる影響を与えるかは明らかでない。ここではこの意味から低炭素鋼について、応力休止を与えた場合のクリープ現象を破断に至るまでの全過程について検討せんとするものである。

2. 試験装置および試験材料

試験機は NPL 型静引張クリープ試験機であって、レバー比 20 : 1 の単一レバー式で、容量は 3 ton である。加熱炉はニクロム線を発熱体とする電気炉で、加

熱巻線を上中下に3分割し、各独立に端子電圧を調整可能である。温度調節装置は Prosser 方式で、温度測定はアルメルクロメル熱電対と電位差計式温度計ならびに自動温度記録計によっている。以上により試験片温度の時間的変動と標点間における温度差を試験温度 450°C において $\pm 1^\circ\text{C}$ 以内に押さえている。

試験片は直径 10 mm 標点距離 100 mm のもので、その形状を Fig. 1 に示す。伸び測定は図示のつばに伸び測定用取出棒を取り付け、炉外においてダイヤルゲージ (1/100 mm) で読み取る方法によっている。

試験材料は 0.16%炭素鋼で、その化学成分、熱処理条件および常温における機械的性質を Table 1, Table 2 に示す。

3. 試験結果

試験条件および試験結果(破断時間、伸び、絞り)を Table 3 に総括する。表中、休止を与えた場合の破断

Fig. 1 Test specimen

Table 1 Chemical composition and condition of heat treatment of test material

Com- position	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
(%)	0.16	0.25	0.41	0.013	0.014	0.05	0.08	0.15

900°C 1 hr annealed

* 原稿受付 昭和35年6月7日

** 正員 京都大学工学部

*** 正員 同志社大学工学部

時間としては休止時間を除いた破断までの負荷時間を示している。

試験温度は低炭素鋼について、第1期クリープにおいて応力休止を与えた場合について行なわれている実験²⁾と同一の450°Cとし、Table 3 に示した各応力にお

Table 2 Mechanical properties at room temperature

Yield point (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)
33.3	42.7	42.0	71.1

Table 3 Test conditions and results
Test temperature 450°C

Stress (kg/mm ²)	Time to rupture (hr)		Elongation of ruptured specimen (%)		Reduction of area (%)	
	Continu-ous	With rests	Continu-ous	With rests	Continu-ous	With rests
20	75.8	81.5	51.0	53.5	73.4	74.2
21	37.5	32.8	50.0	60.4	75.4	—
23	8.0	8.1	50.0	54.3	75.2	73.7
24	4.4	3.9	50.6	59.5	76.9	77.7
25	2.7	1.7	56.0	56.8	78.3	76.2

Fig. 2 Program of load interruption

Fig. 3 Creep curves under interrupted and continuous loadings ($\sigma=21.0$ kg/mm²)

いて休止を与えた場合と与えない場合の試験を破断に至るまで行なっている。応力休止のプログラムはFig. 2 に示すとおりで、休止を与えない場合の破断時間の約1/10の時間だけの負荷を1日1回与えている。

Fig. 3~Fig. 5 に休止を与えた場合と与えない場合のクリープ曲線の比較例を示す。图中、横軸の時間は、休止を与えた場合には休止時間を除いた負荷時間とって示している。また、Fig. 6 は Table 1 の結果を負荷応力と破断までの負荷時間の関係を示す線図とし

Fig. 4 Creep curves under interrupted and continuous loadings ($\sigma=24.0$ kg/mm²)

Fig. 5 Creep curves under interrupted and continuous loadings ($\sigma=25.0$ kg/mm²)

Fig. 6 Stress-rupture time curves for interrupted and continuous loadings

て表わしたものである。Fig. 3~Fig. 5 より明らかなように、既に報告されている試験結果と同様に、休止を与えた場合においては再負荷直後の短時間の間、ひずみ速度の増加を生じていることが認められ、この間に生じた増加ひずみのため、全ひずみは同一時間の休止を与えない場合のクリープひずみに比べてやや大となっている。この傾向は応力の大きい場合ほど著しい。これらの傾向は第2期および第3期クリープ段階においてもほぼ同様であって、その結果として休止を与えた場合の破断までの負荷時間は与えない場合に比べてやや小さいことが認められる。Fig. 6 に示すようにこの差異は大きいものではなく、応力が大きい場合のほかはほとんど実験結果のばらつきの程度で実際問題としては無視しうるものであるが、再負荷直後のひずみ増加の大きい高応力の下で差の著しいことは、再負荷後の増加ひずみが破断寿命の減少と密接に関連していることを示している。Table 3 中に示したように、破断伸びについては休止を与えた場合のほうが与えない場合よりわずかに大きい傾向が認められる。既に述べたように再負荷後の増加ひずみは応力の高いほど大である。この増加ひずみが破断伸びの増加をもたらしたとすれば、破断伸びも応力が高いほど大となることが予想されるが、実験結果は必ずしもそのような傾向を示していない。すなわち増加ひずみは必ずしも破断伸びを増加せしめるものではなく、増加ひずみが大きい場合に、それに相当するだけ破断伸びが大きくならないため寿命の減少を生ずる結果となっている。総りについては休止の影響の差は認められない。

4. 考 察

前節で述べたように、低炭素鋼については応力休止は破断寿命に大きい影響は与えないが、詳細にみると再負荷直後に生じた増加ひずみが破断寿命と密接に関連していて、これを減少させる傾向を持つことが認められる。この増加ひずみの生ずる理由としては、従来休止中における回復²⁾が考えられているようである。もし、この“回復”によって、その材料が処女材の状態へ近づくものならば、休止を与えることにより破断寿命は増加すべきであるが、本実験結果ではそのような傾向はほとんど認められない。これは、ここに起こっている“回復”が文字どおりの意味のものでなく、むしろ軟化と呼ぶべきものであると考えられる。すなわち、転位論的にみれば、クリープ過程は転位の集積による硬化と上昇その他に基づく転位の再配列による軟化の交代であるとされているが、休止中に生ずる転位の再配列も初期状態へ向かっての再配列ではなく、休止を与えず連続負荷した場合に負荷応力の作用の下で進行すべき熱揺動による転位の上昇などが、休止中に熱揺動の作用のみにより既に進行しているものとみる

べきである。云いかえれば、材料の状態としては初期状態への回復ではなく、更に進んだ状態への移行であるとみられる。

以上は破断寿命に対する増加ひずみの作用であるが、変形に対しても同様のことが認められる。すなわち、クリープ過程におけるひずみとひずみ速度の関係を示す線図を描くと Fig. 7, Fig. 8 のようになる。これによると、休止を与えた場合の結果は再負荷後の過渡的な期間を除いては休止を与えない場合の結果とほぼ一致している。横軸のひずみは増加ひずみをも含めたものであるから、この結果はある応力の下におけるひずみ速度すなわち変形抵抗が休止の有無にかかわらず、そのときの全塑性ひずみによって決定されることを示

Fig. 7 Relation between strain and strain rate under interrupted and continuous loadings ($\sigma = 21.0 \text{ kg/mm}^2$)

Fig. 8 Relation between strain and strain rate under interrupted and continuous loadings ($\sigma = 25.0 \text{ kg/mm}^2$)

している。云いかえれば増加ひずみをも含めた全ひずみによってその材料の状態が表わされるもので、このことは増加ひずみが全塑性ひずみの他の部分と全く同様にその材料の状態進行に寄与することを意味している。

5. 結 言

低炭素鋼について温度 450°C において応力休止を与えた場合のクリープ破断試験を行なった。その結果を要約すれば次のとおりである。

(1) 応力休止を与えた場合、再負荷直後短時間の間、過渡的なひずみ速度の増加が認められ、増加ひずみを生じた。この増加ひずみは応力の大きいほど大きい。これらは第 2 期、第 3 期クリープ段階においても第 1 期クリープ段階と同様に認められる。

(2) 応力休止を与えた場合の破断までの負荷時間は与えない場合と大差ないが、前記増加ひずみに原因して応力休止を与えない場合よりやや短くなる傾向が認められた、この傾向は増加ひずみの大きい高応力においてより大である。

(3) 負荷直後に生ずる増加ひずみは回復よりもむしろ休止中に進行した材料の軟化により生ずるものとみられ、以後の材料の状態、すなわち変形抵抗および破断寿命に及ぼす作用は全塑性ひずみ中の他の部分と全く同一のものごとくである。

終りに本研究の計画に際して御指導を賜った同志社大学西原利夫教授、実験に際して御指導を賜った京都大学平修二教授、同志社大学西原正夫教授に対して深甚の謝意を表し、また、実験に協力された同志社大学学生和泉滋、沢田昭穂、田中大成の諸君に感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) M. Tanenbaum and W. Kauzmann, J. Appl. Phys., Vol. 25, p. 451 (1954)
- 2) 西原, 平, 田中, 大路, 機械学会論文集, 21, 111, 791~796 (昭30)
- 3) 平, 大路, 杉本, 材料試験, 8, 71, 664 (昭34)
- 4) A.J. Kennedy, Proc. Roy. Soc., A 213, p. 492 (1952)
Proc. Phys. Soc., Vol. 68-B, p. 257 (1955)
- 5) N.F. Mott, Phil. Mag., Vol. 44 p. 724 (1953)

外国文献紹介

金 属 材 料

時間-温度パラメーターの加速クリープ破断試験への適用について (The Application of Time-Temperature Parameter to Accelerated Creep Rupture Testing) S.S. Manson, G. Succop & W.F. Brown., Trans., ASM. vol. 51, 911/934 (1959)

本論文は従来のクリープ破断試験結果の簡易決定として用いられてきた Larson-Miller 法, Manson-Haferd 法, Dorn 法らの研究ではパラメーターの妥当性を論じること終止してその推定法の実際的な評価についてあまりかえりみられなかった点を指摘して、より少ない実験結果から、いかにして広範囲の応力および温度の結果を推定することができるかを実際の観点から論じたものである。すなわち、上述の方法の各パラメーターを用いて計算せる isothermal rupture curve (温度を変数とせる design data diagram を指す) を “17-22A” S フェライト系鋼 (Cr, 1.32%,

Ni, 0.14%, C, 0.32%, Mo, 0.48%) および 16-15-6 オーステナイト系鋼 (Cr, 16.16%, Ni, 15.60%, Mo, 6.10%, C, 0.67%) について作成し、これらは master creep curve を作るに必要な長時間試験結果の約 2 倍の時間まで外そうしうすることを指摘している。また、この際 Manson-Haferd 法の直線性パラメーターを用いて作成せる isothermal curve は最もよく実験結果と一致し、他のパラメーターによる計算では材料および応力範囲について誤差を生ずることを明らかにしている。最後に Manson-Haferd 法のパラメーターの定数がきわめて短時間に簡易に決定しうることから、本法に基づく isothermal rupture curve はクリープ破断試験時間を大幅に短縮しうるのであることを上述の 2 種類の鋼を例にとって結論づけている。

(大南正瑛)