$$\varepsilon/\varepsilon_0 = \sigma^\alpha/\sigma_0^\alpha = S_0^\alpha/S^\alpha$$

円弧部分の長さを l , 伸びを Δl とすると

$$\Delta l = \int_0^l \varepsilon dl = \int_0^l \left(\frac{S_0}{S} \right)^\alpha \varepsilon_0 dl = \varepsilon_0 l_e$$

$$\therefore l_e = \int_0^l \frac{dl}{(S/S_0)^\alpha}$$

この l_e が長さ l の円弧部分と同一の伸びを生ずる平行部分の長さである。したがって平行部分の長さを L_0 とし, この両端に円弧部分があることを考慮して,

$$L_e = L_0 + 2l_e$$

とおけば, L_e は求める有効標点距離を与える。ここで注意すべきは, α の値によって有効標点距離が異なってくるのである。本実験結果においては, 第 6 図に示したように応力の範囲によって α の値が異なっているから, 一本の試験片について, この両範囲に応力範囲がまたがる時は, 二つの部分に分けて積分しなければならない。このようにして計算した有効標点距離を第 3 表に示す。

文 献

- (1) 西原, 平, 田中, 村田, 材料試験, 5, 34(昭 31), 410.

第 3 表

応 力 比	平均応力 kg/mm ²	有効標点距離 mm
0	40.1	13.8
0	42.0	13.8
0	44.1	13.8
0	46.0	13.8
0	48.0	13.0
0.25	40.0	13.8
0.25	42.5	13.8
0.25	45.0	13.0
0.25	46.0	12.6
0.25	47.0	12.6
0.60	34.7	13.8
0.60	38.1	13.8
0.60	40.0	13.8
0.60	41.8	13.0

- (2) 西原, 平, 田中, 村田, 材料試験, 5, 35(昭 31), 489.
 (3) Hempel u. Tillmanns, Mitt. K. W. I. Eisenforschung, 18(1936), 163.
 (4) Bernhardt u. Hanemann, Z. für Metallkunde, 30, 12(1938), 401.
 (5) Hempel u. Krug, Mitt. K. W. I. Eisenforschung, 24(1942), 71.
 (6) B. J. Lazan, ASTM, Proc., 49(1946), 757.
 (7) B. J. Lazan & E. Westberg, ASTM, Proc., 52(1952), 837.
 (8) F. W. DeMoney & B. J. Lazan, ASTM, Proc., 54(1954), 769.
 (9) 西原, 平, 田中, 弘中, 材料試験, 2, 3(昭 28), 47.
 (10) 平, 田中, 小寺沢, 田中, 藤田, 関西支会第 33 期定時総会議演会において講演(昭 33).

539.376 : 620.172.251.2

2 段変動周期応力をうけるクリープ*

平 修二**, 田中吉之助**, 大 路 清 嗣***, 春 本 功***

Creep of Mild Steel under Periodic Stresses of Rectangular Wave

by Shūji TAIRA, Kichinosuke TANAKA, Kiyotsugu OHJI,
and Isao HARUMOTO

Creep tests were made with 0.14 percent carbon steel at 450°C under the periodic stresses changing stepwise between two stress levels, the mean stress of which was 17.0 kg/mm² and the stress amplitudes of which were 1.0 and 2.0 kg/mm².

It was found that, under the test conditions in this study, creep strain under varying stresses could be predicted from the results of constant stress creep tests employing the assumption of the "mechanical equation of state in solid", within an error not exceeding ten percent. The limitations of the "mechanical equation of state in solid" as an approximate method of estimation of the strain under varying stresses were also discussed on the basis of the authors' theory of plastic deformation of metals at high temperatures, in which the effect of stress and temperature history is taken into account.

1. 緒 言

著者はこれまでに応力休止を含め, 一ないし数回の

階段状応力変動を与えた場合のクリープ変形挙動を軟鋼について調べて来たが, その結果は, 第 1 期, 第 2 期クリープの別なく, いずれも応力変動後に顕著な変化が認められた⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. すなわち変動後のある期間, 材料は固体状態力学方程式⁽⁴⁾が成立する場合に予測さ

* 昭和 32 年 4 月 2 日 第 34 期通常総会議演会において講演,

原稿受付 昭和 33 年 6 月 21 日.

** 正員, 京都大学工学部(京都市左京区吉田本町).

*** 正員, 大阪大学工学部. **** 准員, 富士電機会社.

れる挙動とは全く異なった挙動を示すことを認め、このため応力を減少した場合には固体状態力学方程式の成立を仮定して計算したひずみより小さいひずみが、また応力を増加したときには大きいひずみが現われることを見出した。この結果によると、応力の増加および減少のひずみに及ぼす影響は互に反対の傾向をもつものであるから、実際問題に際してしばしば現われる応力変動の繰返しの場合にどのような挙動を示すかは、工学上非常に興味ある問題であり、このような場合の変形量を、たとえば一定応力クリープ試験の結果から推定する方法を明らかにすることは非常に重要なことである。

本研究ではこの問題の解明の手始めとして、まず2段階の応力の間を階段状に変動する周期応力の下における変形量を実験的に求め、また比較の基準として、同時に行った一定応力クリープ試験結果から固体状態力学方程式により、それぞれの変動応力下の変形量を計算し、両者の関連性を明らかにすることををはかっている。また一方著者は今までの実験結果に基いて高温における金属の変形機構について一つの考えを提唱したが⁽²⁾⁽⁶⁾、これにより固体状態力学方程式の検討を行い、この方程式の適用限界について考察した。

軟鋼を用い温度 450°C の下で行った本研究の試験結果では、ここでとりあげた応力波形およびその応力範囲においては、予想外に上記固体状態力学方程式の適用性がよいという結果になった。これについては著者の変形理論から検討し、固体状態力学方程式が適用できる場合の条件を明らかにし、更にそれから固体状態力学方程式の適用できなくなると考えられる場合をあげ、今後の問題点を明らかにした。

2. 実験装置および試験片

(1) 実験装置 本研究では、緒言でもふれたように、クリープ試験として一定応力および変動応力試験が行われている。このうち一定応力試験の装置は既報⁽²⁾のとおりであるから、ここでは変動応力試験の装置のみについて述べる。

本研究で用いた変動応力の波形は第1図に示すものである。この波形を得る方法として、一定応力型のクリープ試験機⁽²⁾と荷重変動装置とを組合わせ、応力波形の最低応力に相当する荷重を基本荷重として、あらかじめクリープ試験機で負荷しておき、その上に応力振幅 σ_a の2倍、すなわち2段階の応力の差に相当する荷重を、荷重変動装置によりある時間 τ ごとに交互に加減して行く方法をとった。

第1図 応力波形

(a) 荷重変動装置

(b) 荷重変動装置制御回路

第2図

第2図(a)および(b)は、この波形を得るための荷重変動装置およびその制御回路図である。すなわち、クリープ試験機の荷重拡大レバーの一端の基本おもり受けさら①の下に、調節ナット②を介して応力変動用おもり受けさら③が設けられ、2本の円柱④に案内されて上下するおもり台⑤の上に載せられた応力変動用おもり(前述の $2\sigma_a$ に相当するおもり)⑥は、クランク腕⑦の位置によりさら③の上に載せられたり、

除かれたりする(図は除かれた状態を示している)。腕⑦はモータ⑧および減速機の組合せと、これに接続された制御回路によって、適当な時刻に 1/2 回転ずつ回転させられる。回転制御回路は、第 2 図 (b) に示すように、電源、主スイッチ S_0 、スイッチ S_1, S_2, S_1', S_2' およびモータよりなる。 S_1 および S_2 はタイムスイッチで、その開閉はカム C_1 および C_2 によって行われる。 C_1 および C_2 は円周上に 1 ないし数個(図では 1 個)の切欠きを有する同形のカムで、適当な角度(図では 180°) だけずらして重ね合わされており、小形同期モータにより回転させられている。したがってカムの形を適当に作っておけば、その形に応じた時間をにおいて S_1 および S_2 は交互に開閉される。一方 S_1' および S_2' は応力変動用おもり⑥を上下するためのクランク軸のまわりに互に 180° の位相差を与えておかれ、軸に設けられた突起により、クランクの 1/2 回転ごとにいずれか一方が開かれるようになってい

る。
今図のように S_2 が閉じれば、全回路は閉じ、モータ、したがってクランク軸は回転する。クランク軸が 1/2 回転すれば S_2' はクランク軸の突起により開かれモータは停止する。次にカム C_1 および C_2 がある角度(図では 180°) だけ回転すると、前と同様クランク軸は再び同方向に 1/2 回転する。以上の動作により、クランク軸は C_1 および C_2 が回転している限り、一定時間ごとに 1/2 回転ずつ回転し、おもり台⑤は一定時間ごとに上下させられる。

以上二つの機構を組合わせることにより、所要の応

第 1 表 試験片材料化学成分 (%)

C	Si	Mn	P	S
0.14	0.29	0.41	0.010	0.029

第 2 表 試験片材料常温機械性質

降伏点 σ_s kg/mm ²	引張強さ σ_B kg/mm ²	破断伸び φ %	絞 り ψ %
24.9	39.1	37.4	72.8

×100

第 3 図 試験片材料組織

力波形を試験片に負荷することができる。

(2) 試験片 使用した試験片の形状は従来のものと全く同一の⁽¹⁾⁽³⁾⁽⁶⁾、直径 6 mm、標点距離 50 mm の丸棒試験片である。

試験片材料は軟鋼で、第 1 表に示すような化学組成を有している。試験片はすべて同一の素材(25 mm 丸棒) から切出され、所要の形状に機械仕上げの後、真空炉中で 900°C に 1 時間保たれ、ついで炉中冷却されている。この処理後の常温機械性質は第 2 表のとおりである。またこの状態での材料の組織が第 3 図に示されている。

3. 実験結果

実験はすべて一定温度 450°C の下で行われている。また以下述べるところでは、ひずみは対数ひずみで表わされている。

(1) 一定応力クリープ試験結果 第 4 図は 12.0 kg/mm^2 から 20.0 kg/mm^2 までの間の数種の応力について得られたひずみ速度 $d\varepsilon/dt$ と負荷時間 t との関係を示したもので、実験点は両対数グラフ上で、時間の短いところではほぼ直線的に変化し、時間の経過とともに次第に直線関係からはずれて横軸に平行な状態へと移行する傾向を示している。したがってクリープ曲線を表わす式としては、従来どおり⁽²⁾⁽³⁾ Andrade 型の式

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \beta t^n + \kappa t \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$d\varepsilon/dt = n\beta t^{n-1} + \kappa \quad \dots\dots\dots (2)$$

を用いることができるものと考えられる。ただここで

第 4 図 一定応力下のひずみ速度と時間の関係

注意すべきことは、これらの式を用いる場合には、通常 n は応力や温度の変化に対しては一定として取扱われることが多いが、本研究の場合には、第4図からわかるように、直線部分のこう配すなわち $|(n-1)|$ の値は応力が小さいほど大きくなる傾向を示しているの、ここでは n も応力の関数として扱うことにする。実験結果から (1) および (2) 式の ϵ_0 , β , κ および n を応力 σ の関数として定めると (3) 式のようになる。

$$\left. \begin{aligned} \epsilon_0 &= 3.13 \times 10^{-6} \sigma^{4.41} \\ \beta &= 8.34 \times 10^{-4} \sigma^{1.91} \\ \kappa &= 3.25 \times 10^{-17} \sigma^{9.44} \\ n &= 2.31 \times 10^{-2} \sigma - 1.27 \times 10^{-1} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

ただし (1), (2) および (3) 式においては、 ϵ は%, t は mn, また σ は kg/mm^2 を単位として用いるものとする。

これらの式を用いて計算した結果が、ひずみ速度と時間の関係については第4図に、またクリープ曲線については第5図に、それぞれ破線で示されている。いずれもよく実験結果と一致している。なおこれら両図、特に第5図、における実験結果と計算結果の相違の程度は、次節で述べる変動応力下の変形量を固体状態力学方程式によって推定できるか否かを判断する上に重要な役割を果すものである。

(2) 変動応力クリープ試験結果 応力波形はすでに第1図に示したとおりである。応力変動の時間間隔 τ は、高応力および低応力に対して等しくとられているので、周期 p は

$$p = 2\tau$$

となっている。 p の値としては 5760, 1440, 250 および 10 mn の4種類の値がとられている。平均応力 σ_m は 17.0 kg/mm^2 , また応力振幅 σ_a は 1.0 kg/mm^2 (記号 A) および 2.0 kg/mm^2 (記号 D) である。また実験を応力波形のどの部分から始めるかによって変

第5図 一定応力クリープ曲線

第6図 変動応力下のクリープに及ぼす応力順序の影響

形量に相違が生ずるか否かを調べるため、実験は第1図の最高応力 (Hの位置) から始められたものと、最低応力 (Lの位置) から始められたものとに分れている。試験時間は二例を除き 11 520 mn (8日) となっている。

以上のような各種の実験条件の組合せに対して次のような記号を用いることにする。すなわち、(IAH-5760) のように表わし、まず応力波形の記号 (I)*, ついで応力振幅の記号 (A), 更に実験開始時の波形の位置を示す記号 (H) を並べ、最後にその波形の p の値 (単位 mn) を数字 (5760) で表わして付加えることにする。また、たとえば p の影響を調べるために他の条件は一定とし p の値のみを変化させた一連の実験を表わすのに、 p の値を示す数字を除いた、たとえば (IAH) のような記号を用いることにする。第3表は本研究で行った実験の記号をその条件とともに示したものである。

(i) 応力波形開始点の影響 第6図は σ_a および p の三つの組合せについて、それぞれ H および L の位置から実験を始めた場合のひずみ ϵ と負荷時間 t の関係を示したもので、点およびそれを結ぶ実線が実験結果である。今これらの実験のひずみ量を負荷時間が各周期の公倍数になった状態**で比較してみる。たとえば第6図において負荷時間 11 520 mn におけるひずみ量を比較すると、

(IA-5760) および (ID-5760) は H の場合の方が、また (IA-10) は L の

* 本報告においては、応力波形の基本型は1種類であるから区別の必要はないが、本報告の結果とすでに行った他の波形の結果との比較や、今後行う予定の異種の波形の下における結果との比較の便宜のため、このような記号をつけることにする。

** この状態では、 p の異なる一連の実験に対しても、たとえば高応力における負荷時間の総和は各試験に対して等しく、相互の比較に便利である。

場合の方がごくわずかに大きい値を示している。これら各組についてのひずみの大小関係は、第 6 図からわかるように、周期の公倍数に当る負荷時間では、負荷時間の長短に関係なく一定でかつその差も小さい。同種材料についてすでに報告したところによれば⁽⁶⁾、応力波形が異なっても〔本報告の波形との共通点は、平均応力に対して上下点対称の波形である点で、以下簡単のため波形(II)と呼ぶことにする〕、ほぼ同様の傾向が認められるので、このようなひずみの差が生ずるのは実験結果のばらつきによるものと考えられ、このような波形に対しては応力波の開始点の位置は、周期の公倍数に当る負荷時間において、変形量にほとんど影響を与えないものと結論することができる。したがって以下では主として H の場合について論ずることにする。

(ii) 周期 p の影響 第 7 図は (IAH) の場合について、 p を数種に変えた場合の ϵ と t の関係を示したものである。なお黒丸およびそれを結ぶ実線は応力 16.0 kg/mm^2 および 18.0 kg/mm^2 の場合の一定応力クリープ曲線、また破線は (1) 式および (3) 式によるそれらの計算結果である。これらの曲線は (IAH) に対して、それぞれその低応力および高応力のみを負荷した場合の ϵ と t の関係を示したことになる。

第 3 表 階段状変動応力クリープ試験条件

記 号	波 形	応 力 範 囲 kg/mm^2	p mn	τ mn	τ/p %	試験時間 mn
IAH-5 760	I	18.0—16.0	5 760	2 880	50	11 520
IAL-5 760		16.0—18.0	5 760	2 880		11 520
IAH-1 440		18.0—16.0	1 440	720		11 520
IAH- 250		18.0—16.0	250	125		11 625
IAH- 10		18.0—16.0	10	5		11 520
IAL- 10		16.0—18.0	10	5		11 520
IDH-5 760		19.0—15.0	5 760	2 880		11 520
IDL-5 760		15.0—19.0	5 760	2 880		23 040

第 7 図 変動応力下のクリープに及ぼす周期の影響

さてこの場合にも、周期の公倍数に当る負荷時間においては、 p の変化によるひずみ量の顕著な変化は認められず、したがって図から実験結果のばらつきの範囲内で p の影響はほとんどないものと考えられる。

(iii) 応力振幅の影響 第 6 図からわかるように、平均応力が同一であっても、応力振幅が異なれば変形量は異なり、周期の公倍数に当る負荷時間においては応力振幅が大きいほど大きいひずみが生ずることがわかる。このことはすでに報告した波形(II)についても同様で⁽⁶⁾、これは (1) および (3) 式からわかるように、ある与えられた負荷時間に対する ϵ は σ の高次式で表わされることから、時効硬化などが起らない場合には、当然推定されることである。第 7 図で変動応力下のクリープ曲線が 16.0 と 18.0 kg/mm^2 のクリープ曲線のまん中ではなく、後者により近いことも同様の原因によるものと考えられる。

4. 考 察

(1) 固体状態力学方程式による実験結果の考察

固体状態力学方程式⁽⁴⁾とは、「任意の瞬間のひずみ速度は、その瞬間のひずみ、負荷応力および温度によって決定され、これらの値の履歴によっては影響されない」とするものである。すなわち

$$d\epsilon/dt = h(\epsilon, \sigma, T) \dots\dots\dots (4)$$

のように表わされる。たとえば基礎資料として一定応力下のクリープ試験結果を用いる場合には、(1) および (2) 式から t を消去した式が (4) 式に相当する基礎式となる。

本研究においては温度は一定であり、また応力変動は階段状であるから時間間隔 τ の間にはそれぞれ σ を一定とおくことができる。したがって上のようにして求まった一定応力クリープ試験結果をもとにする基礎式においては、(1) および (2) 式で t を助変数と考えて取扱えば基礎式は容易に解くことができ、変動応力下のひずみと負荷時間の関係を計算によって求めることができる。第 6 図の破線は (1)、(2) および (3) 式を用いて、各場合について固体状態力学方程式の成立を仮定して計算した ϵ と t の関係を示したもので、実験結果と定量的にかなりよく一致していることがわかる。この計算によれば、応力波の開始点が異なるために生ずるひずみの差は、周期の公倍数に当る負荷時間においてはほとんどなく、かつ負荷時間が増すほどそれが小さくなること、あるいは周期の公倍数に当る時間に対しては p の影響は實際上ほとんどないことなど、実験結果の傾向と一致した結果が得られる。

第8図は、各周期の公倍数に当る負荷時間 11 520 mn* において、実験によって得られたひずみと固体状態力学方程式に基いて計算したひずみとを比較したもので、各点が両軸と 45° をなす直線上に来れば両者は一致したことになる。図中半黒丸は一定応力クリープ試験結果について実験結果と(1)および(3)式による計算結果とを比較したもので、比較の基準となる一定応力クリープ試験結果のひずみのばらつきの程度を示そうとするためのものである。傍記の数字はその応力値を kg/mm² の単位で表わしたものである。なお図中には比較のため、すでに報告した波形(II)について⁽⁶⁾、本研究と材料、試験温度、平均応力および応力振幅が同じ場合の結果が白丸で示されている。図からわかるように、本研究の応力波形の下では実験値と計算値はよく一致しており、そのばらつきの程度は波形(II)の場合、更には一定応力試験の場合とほぼ同じである。

第8図 実験ならびに固体状態力学方程式によるひずみの比較

第9図は、以上の傾向を更に詳しく調べるため、各周期の公倍数に当る負荷時間 5 760, 11 520 および 17 280 mn におけるひずみの実験値と計算値の比を周期 p に対して示したもので、図からこれらの比は、周期、負荷時間および波形に関係なく、一定応力試験の場合のひずみのばらつきと同程度の $\pm 10\%$ の誤差内で 1 とみることができる。

以上の結果から結局平均応力に対して上下点対称の波形については、平均応力、応力振幅、負荷時間あるいは周期などにあまり影響されることなく、ひずみについて実験値と計算値の比はほぼ 1 に近い値をとるものと考えられる。

(2) 塑性変形理論による結果の考察

以上に、軟鋼について本研究の温度、応力波形、平均応力、応力振幅などの下では、固体状態力学方程式の仮定が近似的に成立することが明らかとなった。この仮定は応力波形その他の実験条件が異なる場合にも成立するかどうか、また成立しないとすればそれはどのような条件の下で起るかを著者の塑性変形理論⁽²⁾⁽³⁾に基いて考察してみよう。

著者の理論によると、「任意の瞬間のひずみ速度はそのときの材料のすべり性質を代表する特性値すなわち内部降伏応力 $\bar{\sigma}$ と負荷応力および温度によって定まる」すなわち、(4)式の代りに

* $p=250$ mn の公倍数にはなっていない。しかしこの場合には実験開始後の数周期の間を除き、1 周期当りのひずみの増分は小さいので 11 520 mn をはさむ二つの公倍数 11 500 および 11 750 mn のひずみ量から内そうした値を用いることにする。以下に述べる負荷時間 5 760 mn の場合についても同様である。

第9図 実験ならびに計算によるひずみの比と周期の関係

$$d\epsilon/dt = f(\bar{\sigma}, \sigma, T) \quad (5)$$

とおくものである。

$\bar{\sigma}$ は変形中常に加工硬化と回復の影響を受けて変化し、任意の状態における $\bar{\sigma}$ の変化量 $\delta\bar{\sigma}$ は $(\partial\bar{\sigma}/\partial\epsilon)'$ を加工硬化係数、 $(\partial\bar{\sigma}/\partial t)'$ を回復速度とすれば

$$\delta\bar{\sigma} = (\partial\bar{\sigma}/\partial\epsilon)' \delta\epsilon + (\partial\bar{\sigma}/\partial t)' \delta t, \quad \delta\epsilon, \delta t \geq 0 \quad (6)$$

で表わされる。ここに $\delta\epsilon$ および δt はひずみおよび時間の増分である。なお $(\partial\bar{\sigma}/\partial\epsilon)'$ および $(\partial\bar{\sigma}/\partial t)'$ は $\bar{\sigma}$, σ および温度 T の関数と考えている⁽²⁾。(6)式からわかるように、 $\delta\bar{\sigma}$ は $\delta\epsilon$ のみならず δt の影響も

うけるため、応力や温度の履歴が異なれば、たとえひずみが同じであってもそれまでのひずみと時間の関係が異なり、したがって (6) 式を積分して得られる $\bar{\sigma}$ の総変化量も異なることになる。換言すれば、 $\bar{\sigma}$ は σ や T の履歴の影響を受けることになる。

(5) および (6) 式から ε と $\bar{\sigma}$ および t と $\bar{\sigma}$ の関係は

$$\varepsilon = \int_{\bar{\sigma}_0}^{\bar{\sigma}} F(\bar{\sigma}, \sigma, T) d\bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$t = \int_{\bar{\sigma}_0}^{\bar{\sigma}} \frac{F(\bar{\sigma}, \sigma, T)}{f(\bar{\sigma}, \sigma, T)} d\bar{\sigma} \quad \dots\dots\dots (8)$$

となる。ここに $\bar{\sigma}_0$ は $\bar{\sigma}$ の初期値である。また

$$F(\bar{\sigma}, \sigma, T) = \frac{1}{(\partial \bar{\sigma} / \partial \varepsilon)' + (\partial \bar{\sigma} / \partial t)' / f(\bar{\sigma}, \sigma, T)}$$

である。与えられた条件の下に (7) および (8) 式を解けば、応力の履歴を考慮した ε と $\bar{\sigma}$ および t と $\bar{\sigma}$ の関係が求まることになる。

以上のことからわかるように、著者の理論と固体状態力学方程式の異なる点は、ひずみ速度を定める量として σ および T の外に $\bar{\sigma}$ をとるか ε をとるかにある。したがって $\bar{\sigma}$ と ε との間に常に一対一の対応関係が成立するときには両者は同等となり、またこれが近似的に成立する場合にはある誤差範囲で固体状態力学方程式の仮定が成立することになる。通常固体状態力学方程式に基づいて変動応力下の変形量を計算する場合、基礎資料として一定応力クリープ試験結果が用いられる。したがって固体状態力学方程式の ε と著者の理論の $\bar{\sigma}$ の間に一対一の対応関係が近似的に成立するという事は、変動応力下の ε と $\bar{\sigma}$ との間に一定応力下の ε と $\bar{\sigma}$ の関係が近似的に成立するという事になる。

$\bar{\sigma}$ と ε の一対一の対応が近似的に成立する例をあげれば

- (i) 温度が低いとき
- (ii) 応力変動後十分ひずみが増加したとき
- (iii) 応力振幅の十分小さいとき
- (iv) ある応力段階において生ずるひずみ量が他の応力段階において生ずるひずみ量より圧倒的に多いとき

などが考えられる。(i), (ii) および (iii) はすでに報告したこと⁽³⁾⁽⁵⁾から容易に理解できるので、ここでは本報告に関係の深い (iv) の場合についてのみ、著者がこれまでしばしば用いて来た $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ と $\bar{\sigma}$ の関係⁽³⁾⁽⁵⁾を用いて考えてみる。

$F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ と $\bar{\sigma}$ の関係は一般に σ を助変数として第 11 図のようになることはすでに詳論した⁽³⁾⁽⁵⁾。ま

第 10 図 一定応力下の $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ と $\bar{\sigma}$ の関係

第 11 図 加工硬化の領域における $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$

た $\bar{\sigma}$ に達するまでの ε は、それまでにうけた応力の履歴によって異なり、たとえば一定応力下では第 10 図の曲線 $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ の下の陰影を施した部分の面積で与えられる⁽⁵⁾。

一般にクリープ変形においては、(1) および (3) 式からわかるように、与えられた時間 t に対して ε は σ の高次式で表わされ、このため変形量は応力に対してきわめて敏感で、たとえば、高応力と低応力が同じ時間間隔で交互に繰返されるような場合には、生ずるひずみの大部分は高応力によるもの

である。このような場合には $\bar{\sigma}$ と ε の関係は定性的には第 11 図のようになり、ある $\bar{\sigma}$ に達するまでに高応力 σ_0 のみを負荷した場合に生ずるひずみ、すなわち面積 $OII'O$ に比べて、低応力 σ_1 を部分的に負荷したため余分に生じたひずみ、すなわち面積 $ABCD$, $EFGHE$, ……などの和は無視することができる。したがって試験の全期間にわたって応力 σ_0 に対する $\bar{\sigma}$ と ε の対応関係が近似的に成立することになり、このため低応力に対しては固体状態力学方程式は成立しないが、高応力に対してはそれが近似的に成立することになる。ところが低応力負荷中に生ずるひずみの全ひずみに対する寄与はきわめて小さく、ひずみ量を基準とする限り、全体として固体状態力学方程式はかなりよい近似を与えることになる。

以上は ε とともに $\bar{\sigma}$ の増加する加工硬化の領域について考えたが、応力が減少させられる場合には応力差 $(\sigma_0 - \sigma_1)$ の値のいかんにより $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ の負の領域すなわち加工軟化の領域⁽³⁾⁽⁵⁾にはいるので、この領域での挙動も考える必要がある。これについてはすでに報告したので⁽³⁾⁽⁵⁾、ここでは詳論はさけるが、 ε の増加とともに $\bar{\sigma}$ が減少することになるので、 $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ と $\bar{\sigma}$ の関係がある状態 A に達した後の 1 周期

の応力変動により, $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$ と $\bar{\sigma}$ の関係は第12図に示すように $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E$ とループ状に変化することになる。

このためにループ内の面積 $ABCD$ に相当するひずみが, 同じ $\bar{\sigma}$ の値に対して一定応力 σ_0 の下で生ずると考えられるひずみ (たとえば面積 OEE') に対して余分に生

第12図 加工軟化の領域における $F(\bar{\sigma}, \sigma, T)$

ずることになる。1周期当りに生ずるループの面積は小さくても, 応力変動の繰返し数の増加とともにこの面積も累積されて, これらの面積の総和すなわち Σ (面積 $ABCD$) は面積 $OEE'O$ に比して無視することができなくなる。このような場合には, 高応力 σ_0 に対する $\bar{\sigma}$ と ϵ の対応関係を全試験期間について用いることができず, したがってこのような現象は固体状態力学方程式を成立させない方向に作用するものと考えられる。

以上のことから推論すると, 上述の (i) から (iv) までの条件が成立しないような場合, たとえば試験温度が高くなり, 応力振幅が大きくなり, また1周期中に占める高応力の負荷時間割合 τ/p の値が減少したような場合には, 固体状態力学方程式の成立は難しくなるものと考えられる。したがって今後この方向の実験的研究が必要となって来る。

なお p の影響については, 上のように固体状態力学方程式の成立しないような条件の下では, 応力休止な

どの結果⁽¹⁾から考えて当然その影響があるものと考えられ, 周期が短いほど変形量が大きくなることも考えられる。

5. 結 論

0.14% 炭素鋼を用い, 温度 450°C の下で, 平均応力 17.0 kg/mm^2 , 応力振幅 1.0 および 2.0 kg/mm^2 の階段状周期変動応力について実験を行い, その結果および考察から次のことが明らかとなった。

(1) 本研究の条件の下では, 変動応力試験の結果は, 一定応力クリープ試験結果を用い固体状態力学方程式の成立を仮定して計算した結果とよく一致し, その差はひずみで $\pm 10\%$ 程度である。

(2) 周期および応力波の開始点の変形量に及ぼす影響は, 周期の公倍数に当る負荷時間で比較すればきわめて小さく, 実験値のばらつきと同程度である。

(3) 試験温度が高く, 応力振幅が大きくなり, 更に1周期中の高応力と低応力の負荷時間比が減少すれば, 固体状態力学方程式の成立は困難になるものと考えられる。

文 献

- (1) 西原, 平, 田中, 大路, 機械学会論文集, **21**, 111 (昭 30), 791, 796.
- (2) 西原, 平, 田中, 大路, 機械学会論文集, **22**, 123 (昭 31), 832.
- (3) 西原, 平, 田中, 大路, 機械学会論文集, **24**, 143 (昭 33), 441.
- (4) J.H. Hollomon & J.D. Lubahn, *General Elec. Rev.*, **50**(1947).
- (5) 西原, 平, 田中, 大路, 機械学会論文集, **24**, 143 (昭 33), 452.
- (6) 西原, 平, 田中, 大路, 材料試験, **7**(昭 33), 254.

ニ ュ ー ス

超硬合金の記号・国際規格なみに統一

超硬工具業界では, このほど国際規格 (ISO) に準じて用途別に記号を統一することになった。

現在, 超硬工具は切削用だけでも大手メーカは十数種類から 20 種類ぐらい, 小メーカでも数種類の製品が市販されており, 業界全体では 200 種類にもものぼっているが, それらの記号は統一されずに各社特有の番号を付しているため, たとえば同じ記号でもその品質, 性能は全然違ったものであった。また反対に同じ用途の品種でも記号が違ったりしているため各社間の品質を比較できないことが多かったため, 今回の措置をとるようになった。

ISO の記号区分とは鋼, 鋳鋼, 可鍛鋳鉄 (長い切り

くずのでるもの) 用を「P」とし, 鋳鉄, 鋼, 鋳鋼, マンガン鋼, オーステナイト鋼, ノジュラー鋳鉄などの万能用品種には「M」, チルド鋳物, 焼入鋼, 鋳鉄, 可鍛鋳鉄 (切りくずの短いもの), プラスチック, 非鉄合金, 木材用などには「K」の記号の三つに大別し, それぞれの記号をさらに P01, P05, P10, P20, P25, P30, P40, P45, P50, M10, M20, M30, M40, K01, K05, K10, K20, K30, K40, K50 に区別して性能に応じた番号をつけたもので, これによると記号, 番号をみただけで, その用途が一目りょう然となるようにしてある。

(服部 敏夫)