

銅単結晶のクリープ

柳下小太郎・谷 安 正

金属材料のクリープの問題は実際的にもまた物性論的にも重要であるが、その本質を究めるには、まず極めて小さい応力のもとでの金属単結晶のクリープを調べることも必要である。それは多くの条件を含まない最も単純な場合であり、また結晶の塑性を支配する転位の挙動を究めるための有力な手段であることによる。

クリープ歪 γ と応力を加えてからの時間との関係については応力の小さい範囲では

$$\gamma = \alpha \log t \quad (1)$$

なる関係で与えられ、 α クリープの名で呼ばれていることはよく知られている⁽¹⁾。ここで α は応力ならびに温度の函数である。 α はある臨界応力 σ_c 以上では応力と共に急に大きくなる⁽²⁾。 σ_c 以上では転位の増殖が行われ、 σ_c 以下では既存の転位のみ運動に帰せられると考えられている。われわれの行った実験は銅単結晶について臨界応力 (約 250 g/cm²) 以下の応力下の極めて微量なクリープを種々の温度で測定した結晶であって、これを測定するにはかなりの困難を伴った。銅単結晶は直径 6 mm 長さ 10 cm で柱軸の結晶方向は [100] に近いもので、この結晶中距離 5 cm の二つのゲージマーク間の伸びを測定した。歪計はわれわれの研究室において安井によって作られた Martens 型を改良した感度 10⁻⁶/cm のものである⁽³⁾。

クリープ歪 ϵ と時間 t との関係の 1 例は第 1 図のようになって曲線 AB に示すように歪速度は時間と共に減少し一種の歪硬化の現象を呈する。次に曲線上 B なる状態になったとき荷重を取去って試料にしばらく休息を与えて後荷重を元に戻すと歪速度は休息直前より速くなり、一種の回復現象を示す。本論文で取扱おうとすることはこの歪硬化の現象と回復とについてである。

初め曲線 AB の部分については α クリープの式 (1) が成立つことが確かめられ、また休息後のクリープについては休息直前 t_1 からある時間 τ だけ以前の時刻 $t_2 (= t_1 - \tau)$ からの AB 曲線と一致することが確かめられた。すなわち休息によって時刻 t_1 における硬化状態がそれより低い硬化度の t_2 におけるものに戻ったことを表わすと考えてよい。次にこの硬化および軟化現象の起因について一つの Speculation を与えそれに基づいて実験

事実を解析してみよう。

かような微小クリープについてはすでに Mott 等の Exhaustion 理論があり⁽⁴⁾、それから導かれる結果は数量的にもかなりの程度に実験を説明することができるが回復現象については説明が困難である。筆者の一人はクリープに対する障害としてクリープの起っている刃面系上の転位線とこの系以外の刃面系上の転位との交叉によるものと考えて回復現象の説明を試みた。すなわち双型あるいはラセン転位のいずれにしても他のラセン転位と交叉する際には、その後 vacancy を残し、かつ転位に jog を生じる。この結果ラセン転位では次第に抵抗がふえる。銅単結晶中の転位はラセン型転位が多く含まれていることは知られているから、この抵抗力の増加がクリープ硬化の原因と考えてもあながち無理はなからう。

さて転位のエネルギーはそれが交叉した転位線の数に比例するとする。それは交叉線の数に比例して jog と vacancy を生じるからである。刃面に交叉する他の刃面系の転位線の数の単位面積当りの数を N とするならば、 $\dot{\gamma}$ は rate process として考えて

$$d\gamma/dt = C \exp = C \exp(-\beta N\gamma/kT)$$

とされるここで $C_1\alpha$ は応力に依存する常数、これを積分して α クリープの式;

$$\gamma = (kT/\beta N) \log t + \text{Const}$$

が得られる。この式によれば温度 T が高まると共にクリープが増し、転位密度 N が大きくなれば減ずるといふ事実を、質的には説明していると見てよいが、数量的な比較については、さらに今後の実験にまたねばならぬ。

次に回復については休息間の vacancy の消滅 (転位の jog との結合による) 等により抵抗の減少によるものと考ええる。すなわち休息直後 t_1 の状態がそれ以前 t_2 の状態に戻ったものとみてよい。すなわち t_1 における jogs-vacancies の数 n が減少して t_2 に対応するものになったと

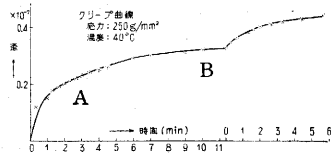
する。 t_1 および t_2 における歪をそれぞれ γ_1 および γ_2 とする。消滅の活性化エネルギーを E とすれば

$$-dn/n = v \exp(-E/RT) dt \quad v \text{ は atom の振動数}$$

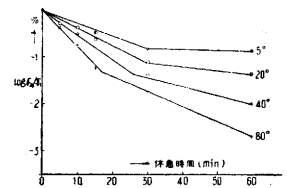
休息直後の数を n_0 とすると休息時間 t 、後では

$$\log n/n_0 = v \exp(-E/RT) t, = \log(\gamma_2/\gamma_1)$$

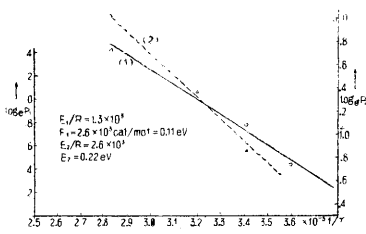
γ_2 と γ_1 との比の \log と t との関係を求めると第 2



第 1 図



第 2 図



第 3 図

で与えられるはずである。第 3 図は $\log P$ を $1/T$ についてプロットしたものであり大体実験と一致する。またこのグラフから求めた活性化エネルギー E は 0.11 eV および 0.22 eV の二通りがあるとみられ、これらは va-

図の如くなり、この傾斜の t_0 は $v \exp(-E/RT)$ となる。この量を P とすると $\log P = \log v - E/R$

cancy の消滅に対するエネルギーの 1 volt より非常に小さくなるが vacancy と jog の相互作用として考えるならばこのように小さくともよいと考えられる。また Kennedy の実験、あるいは放射線衝撃効果の実験⁽⁵⁾ においては -120°C ですら回復が認められることを考えるとこの値も不当ではなからうかと考えられる。(1955.7.7)

文 献

- (1) A.H. Cottrell; Dislocation & Plast. Flow in Cryst. p. 195, Oxford 1958
- (2) B. Chalmers Proc. Roy. Soc. A 156, 427(1936)
- (3) 安井勇夫, 谷安正; 応用物理 13, 352(1943)
- (4) N.F. Mott; F.R.N. Nabarro; Report on Streng. Solids 1(1948)
- (5) A.J. Kennedy; British Jour. App. Phys. 4, 225(1953); D.Wruck; C. Wert. Act. Metal. 3, 115(1955)

電子管式アナログ・コンピュータの回路結線法と解の安定性について

野 村 民 也

1. 緒 言

電子管式アナログ・コンピュータによって、微分方程式

$$f(t, x, \dot{x}, \dots, x^{(n)}) = 0 \quad (1)$$

の解を求める場合、最高次の微係数について (1) 式を解いて

$$x^{(n)} = g(t, x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)}) \quad (2)$$

として計算回路を作るのが普通である。

一般には (1) 式が $x^{(n)}$ について explicit に解けぬこともある。この場合には、

$$x^{(n)} + \alpha f(t, x, \dot{x}, \dots, x^{(n)}) = x^{(n)} \quad (3)$$

より、必ず

$$x^{(n)} = G(t, x, \dot{x}, \dots, x^{(n)}) \quad (4)$$

の形を実現することは可能であるから、(4) 式をもととして、implicit な解き方 (あるいは regenerative な解き方といってもよい) が存在しうる。この場合、不用意な解き方をすると、計算回路自体が不安定となって所定の解がえられないことがある。以下、implicit な解き方に対して解が安定にえられるための条件を吟味する。

2. Equation Solver の解の安定条件

手初めに一般の方程式

$$\phi(x, x_1, \dots, x_n) = 0 \quad (5)$$

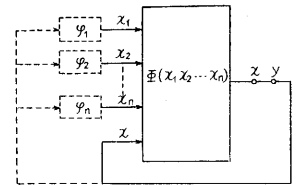
の解法を考える。 $x_1 \dots x_n$ は x の函数または独立の変数であるものとする。

前述したとおり、(5) 式より

$$x = \theta(x, x_1 \dots x_n) \quad (6)$$

は必ず実現できるから、これより、 x, \dots, x_n の入力に対し θ なる演算関係を与える演算要素が実現できれば、

第 1 図の計算回路によって、 x を自動的に求めることができる。点線で示した部分は、 x_1, \dots, x_n の一部またはすべてが x の函数である場合に、その関係を導入すべき演算要素を示している。



第 1 図

第 1 図で所要の演算要素をすべて unilateral なものとする、回路は一種の帰還増幅器となっているから、必要な変域で、Positive unity 以上の帰還が行われなければならない、回路が安定に動作するための必要条件である。

すなわち、

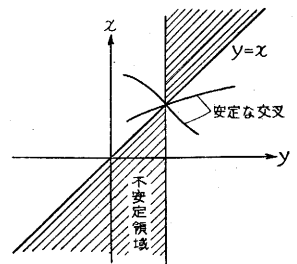
$$\begin{cases} x = \theta(x, x_1, \dots, x_n) \\ x_j = \phi_j(x) \end{cases} \quad (7)$$

とすると、

$$\frac{\partial \theta}{\partial x} + \sum_j \frac{\partial \theta}{\partial x_j} \frac{\partial \phi_j}{\partial x} < 1 \quad (8)$$

であることが必要である。

(8) 式の条件を図式的に示すと第 2 図のようになる。すなわち、第 1 図に示すように、出力端を切り離し、仮想的な信号 y を加えたとき、出力端にあらわれる信号を x



第 2 図

として、 y に対する x の graph を描いたとき、この