

無酸素銅のクリープ

Creep of Oxygen-Free High-Conductive Copper

大原 秀 晴*

内 容 梗 概

4種類の無酸素銅について窒素雰囲気中で、 $1\sim 5\text{ kg/mm}^2$ の定応力で $193\sim 767^\circ\text{C}$ の温度範囲内でクリープ試験を行った。この結果、塑性においては、真空熔解によるものがすぐれていることが示された。また、結晶粒度の影響についても実験した。データの解析においては、クリープ曲線を両対目盛にとつた場合は上に凸なる初期の部分と下に凸なる爾後の部分とがあり、本質的には彎曲点をもつた逆S字状となることを示唆した。これにより後期の部分には潜伏期のあることが考えられ、さらにこの部分はいくつかのそれぞれ潜伏期をもつ曲線群の集りと考えられることができるようである。クリープ曲線を $\epsilon-\epsilon_0=Ct^n$ で近似した場合には $C=D\exp(-x\sigma)\exp\{-(Q_0-m\sigma)/RT\}$ であつて、 Q_0 は 39.4 Kcal/mol であつた。これはクリープが応力依存型速度過程にしたがうもので、その活性化エネルギーは構造敏感量であることを示すものである。

〔I〕 緒 言

無酸素銅は真空管用金属材料の一つとしてガラスとの熔封にさいして用いられる。これは銅はその酸化被膜によつてよくガラスと接着し、またガラスと熔封後の冷却過程において、膨脹係数の差によつて生ずる応力に対して塑性流動を起してこの応力を緩和するためである。このゆえに銅の高温における塑性変形は熔封部の設計に際して問題となる。したがつて、高温において、一定応力または荷重を加えたときの歪の時間的变化、すなわちクリープに関する特性をしることが必要となる。

無酸素銅のクリープに関しては従来もかなりのデータがあるが⁽¹⁾、融点 $T_m(^{\circ}\text{K})$ の0.45以上の温度のデータはない⁽²⁾。しかるに管球の場合には高温のデータが必要とされるので、実験を行うこととしたが、そのデータは熔封後の冷却過程に適用されるのであるから、長時間のクリープ試験は必要とせず、銅に要求せられる性質もクリープしやすいことである点が本実験の一般のクリープ試験と異なる点である。

これらの目的のためには、炉を窒素雰囲気として高温における酸化を防止し、また大きな伸を測定するのであるから伸による試験片の断面積減少に対応して荷重を逐減せしめ、単位面積当り常に一定の応力が加わるよう荷重装置を考慮しなければならない。

〔II〕 試 料

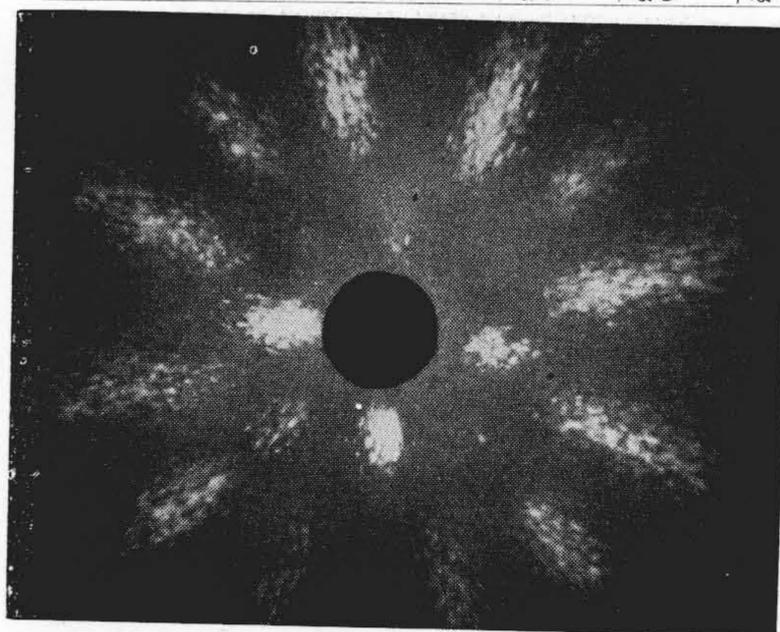
実験に供された無酸素銅はA, B, CおよびVの4種類で、このうち、Vは当所において真空熔解により製作したものである。これらの諸試験結果は第1表の通りである。

全実験を一貫せる試料としてはAを用い、ほかはこれと比較するに止めた。分光分析によればAはCa,

* 日立製作所中央研究所

第1表 供試無酸素銅の諸試験結果
Table 1. Properties of OFHC Tested

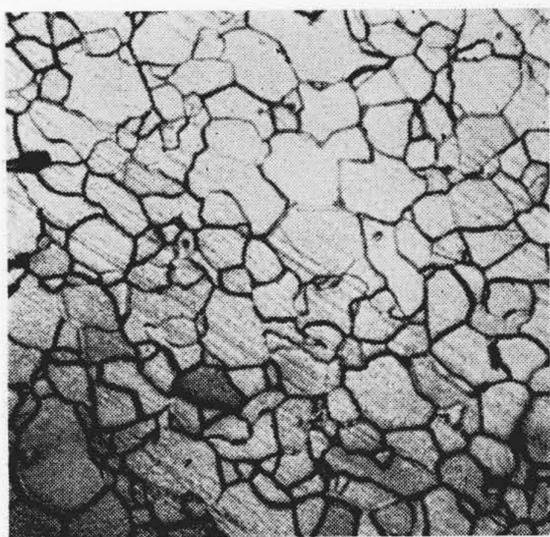
	A	B	C	V	JIS
抗張力(kg/mm ²)	18.2	21.9	22.5	20.5	<25
伸 (%)	30~35	46	45	57	>40
酸化膜剥離試験	剥離せず	剥離せず	65%剥離	剥離せず	剥離せず
水素脆化試験	クラックなし	クラックなし	クラックなし	クラックなし	クラックなし



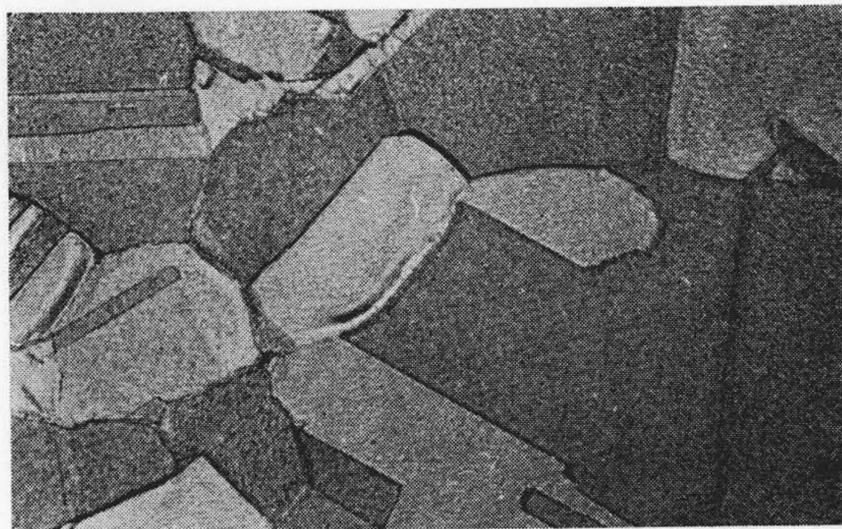
第1図 AMのX線回折写真
Fig. 1. X-ray Diffraction Pattern of AM

Mg, Si, Al, C および Mn を含み、その量はこの順に少くなつている。Vは化学分析によれば Fe: 0.0004; S: 0.0001; As: 0.0001; Sb: 0.0001 および O₂: 0.0038%を含む。

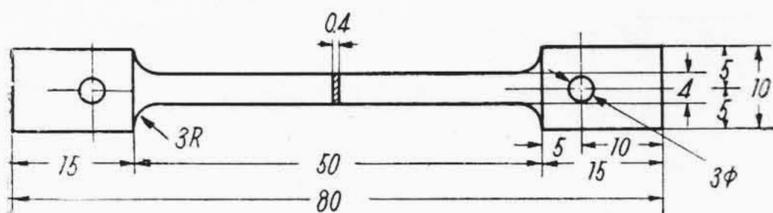
結晶粒度の影響を見るために試料は加工のままのものと焼鈍したものおよび二次再結晶によつて結晶粒を粗大化させたものの3種を用い、おのおのの符号を-F, -M および -Cとして品種記号A, B, CまたはVのつぎにこれを附した。すなわち、AMとはA試料の焼鈍材の意で、この焼鈍は $700^\circ\text{C}\times 4\text{ hr vac.}$ である。AMは標準試料として全実験範囲にわたつて用いられたものであつて、このX線回折写真を第1図に、顕微鏡写真を第



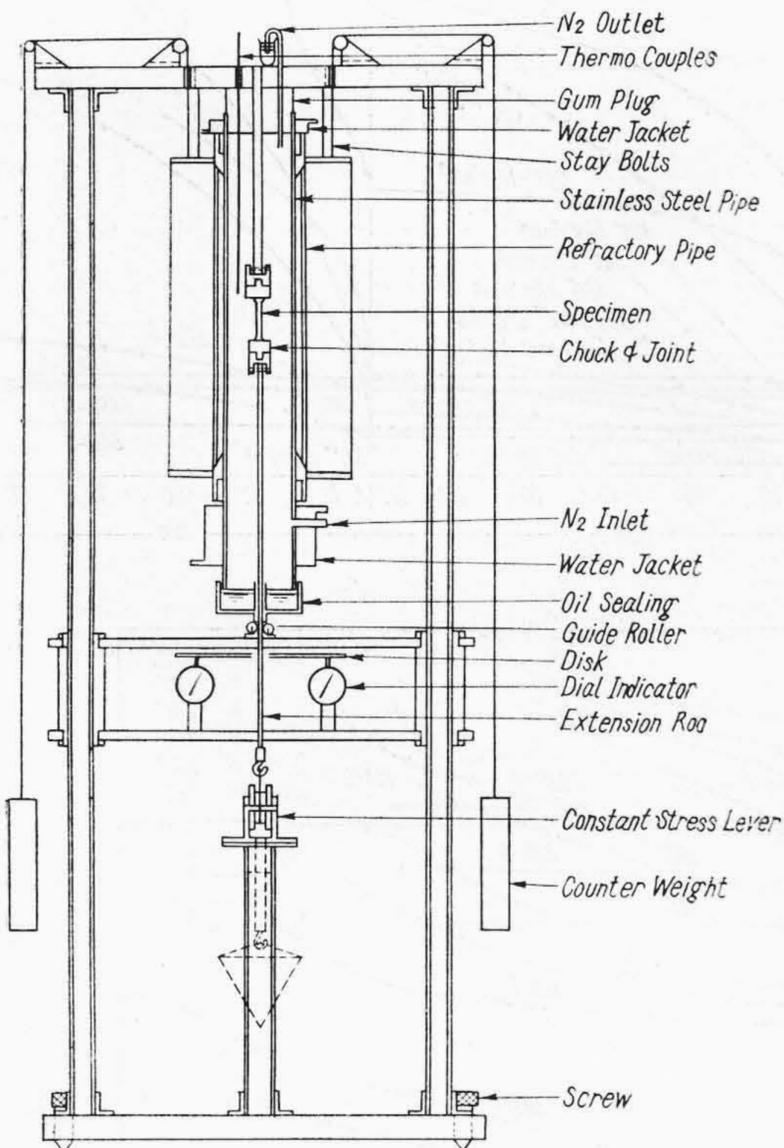
第2図 AMの結晶粒度 (×60)
Fig. 2. Grain Size of AM (×60)



第3図 AMの顕微鏡組織 (×400)
Fig. 3. Micro Structure of AM (×400)



第4図 試験片寸法
Fig. 4. Shape of a Specimen



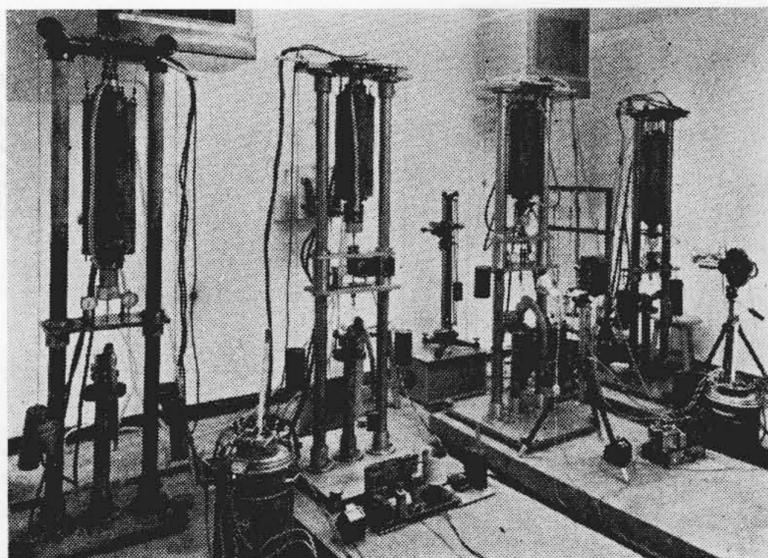
第5図 クリープ試験機
Fig. 5. Creep Testing Apparatus

2図および第3図に示した。これによれば本試料の焼鈍材は再結晶聚合組織をとり、その結晶粒径は 0.05~0.06 mmでほぼ均一であり、酸化物は認められない。

第2表 実験範囲
Table 2. Range of the Test Condition

試験応力 試験温度(°C) (kg/mm ²)	1	2	3	4	5
193					
346					
460					
568					
670					
767					

■ 実験された条件

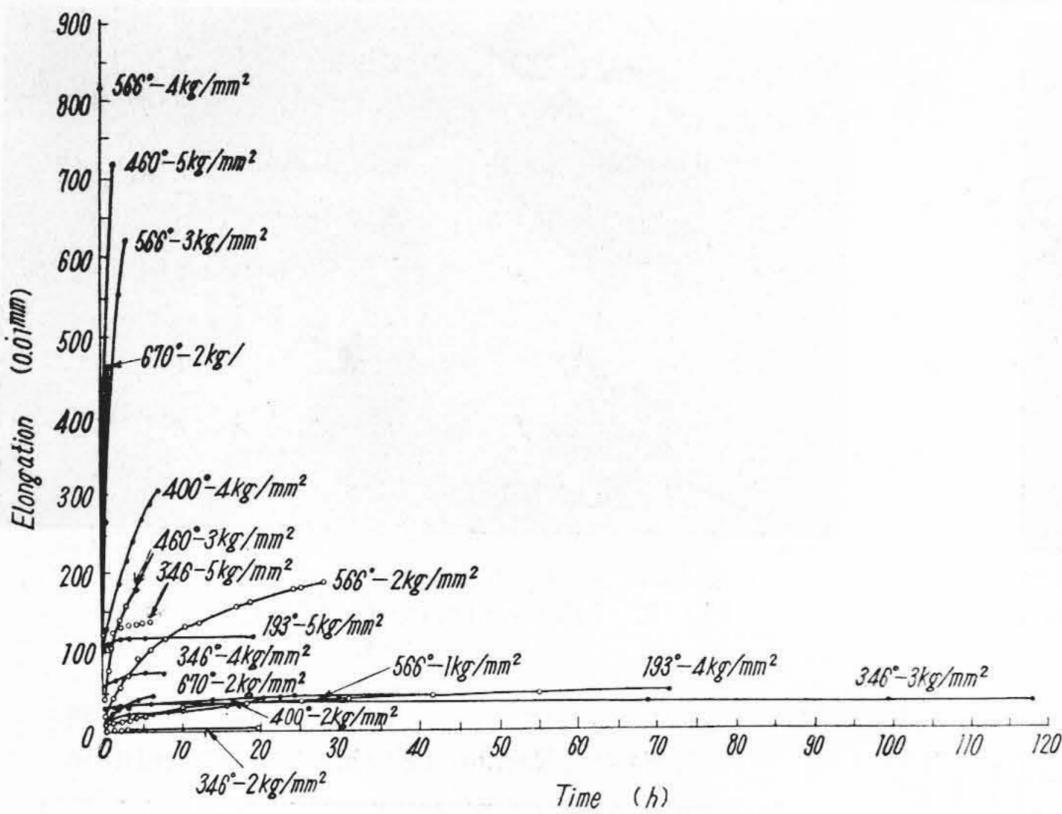


第6図 クリープ試験設備
Fig. 6. Creep Testing Equipment

試験片寸法は第4図に示すごとくである。

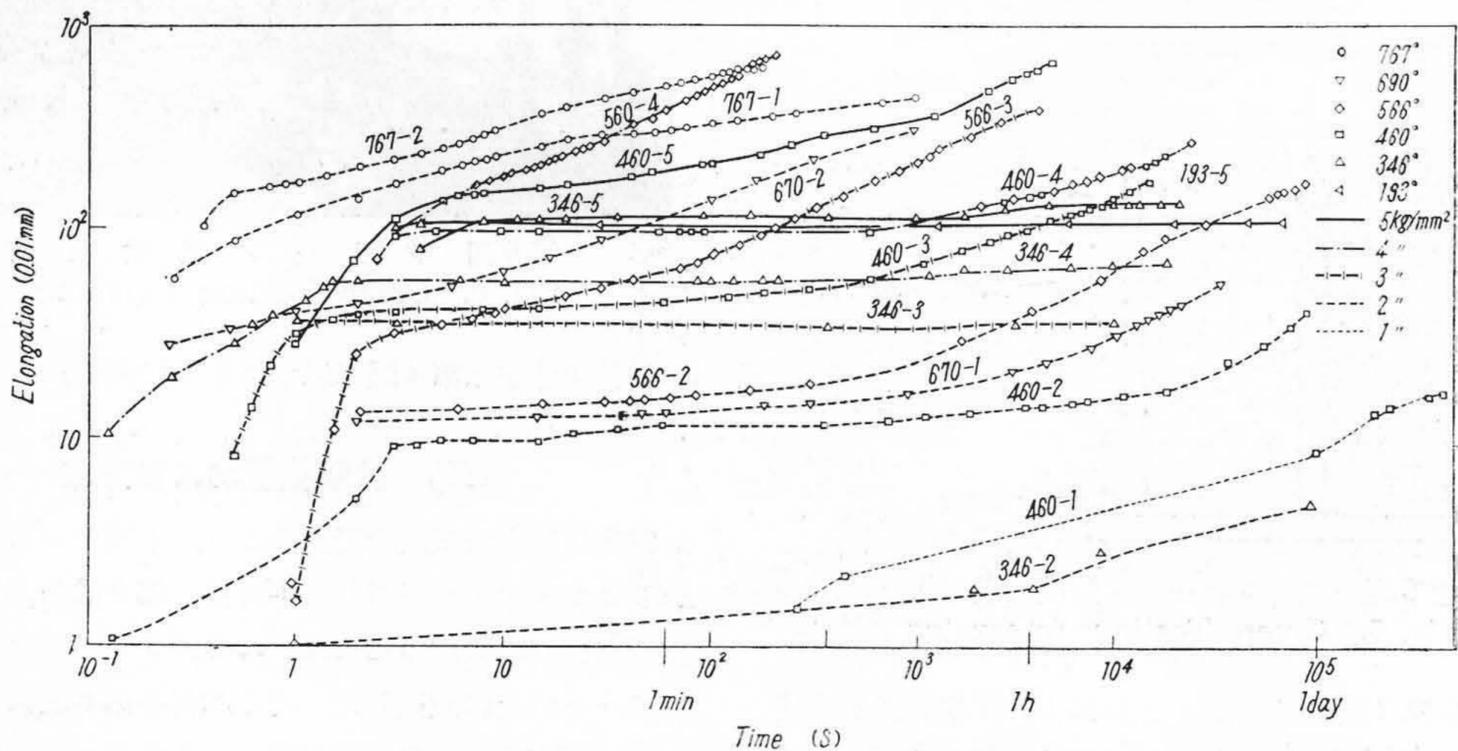
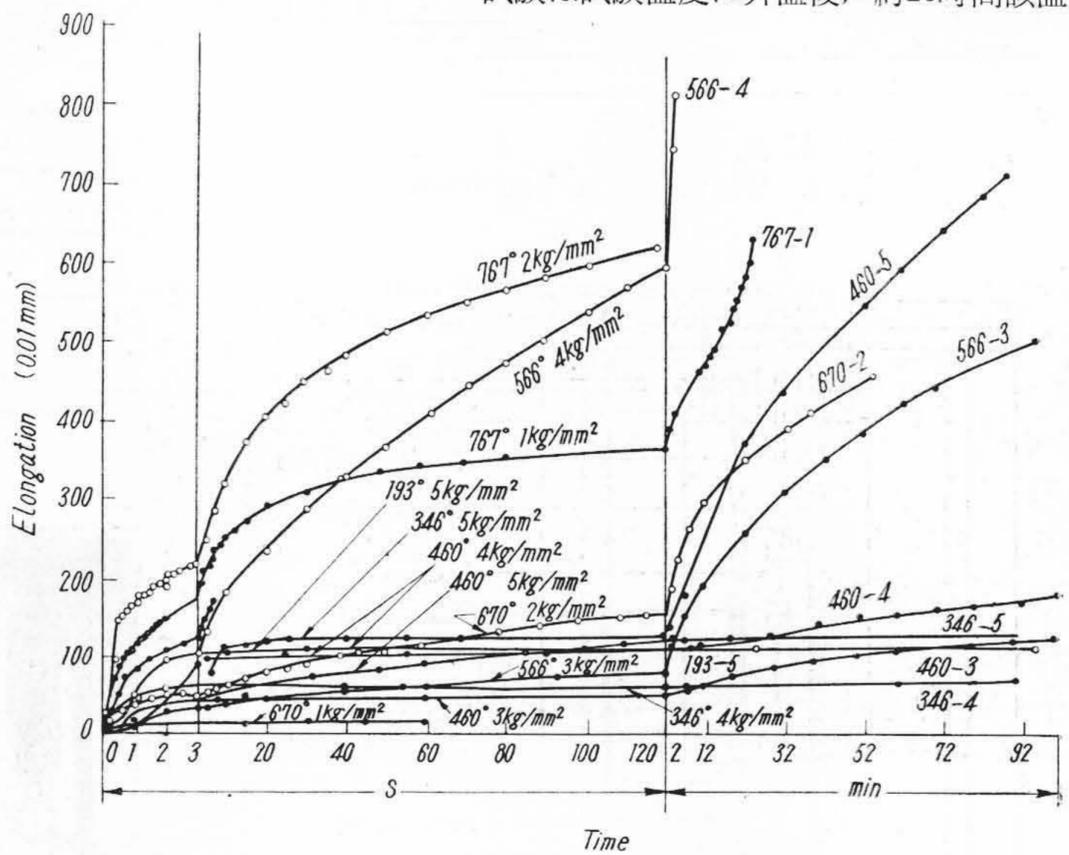
〔III〕 試験装置および方法

窒素気流中で試験を行えるよう、上端をゴム、下端をシリコン・オイルで封じた炉を持つ第5図のごとき試験機を自作し、除震のためにゴムのダンパーを敷いたコンクリート台上に設置した。その状況を第6図に示す。また伸びが大きく、断面積が減少するので、単位面積あたりの応力を不変とするために Ward & Marriott⁽³⁾ の



第7図 試料 AM によるクリープ曲線の数例
Fig. 7. Some Creep Curves Obtained by AM
(Illustrated in the ordinary coordinates)

第8図 試料 AM によるクリープ曲線の数例
Fig. 8. Some Creep Curves Obtained by AM
(Illustrated by varying the time axis)

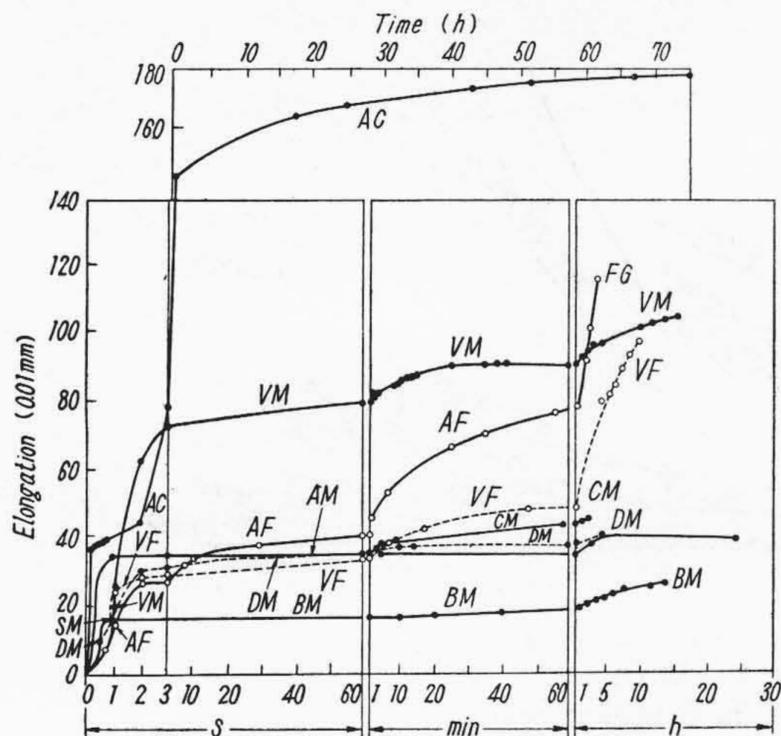


第9図 試料 AM による全クリープ曲線 (両対数目盛)
Fig. 9. All the Creep Curves of Sample AM in log-log Scales

定応力装置を用いた。伸びは0.01mmダイヤル・ゲージを用いて試験片の肩から肩までの伸びを測定した。加重直前より伸速度の減少に応じて1/12秒ないし10分の間隔でダイヤル・ゲージの動きとこれと併置した時計とを16mm撮影機によつて撮影した。

試験機の構造上、室温の変化が伸測定に影響すると、試験温度の保持を容易にするため、試験室には全六面をフォーム・ガラスで囲んだ20±0.5°Cの恒温室を用いた。試験温度には±2°C以内に保持し、試験片の長さにわたる温度分布も±2°C以内に保たれた。

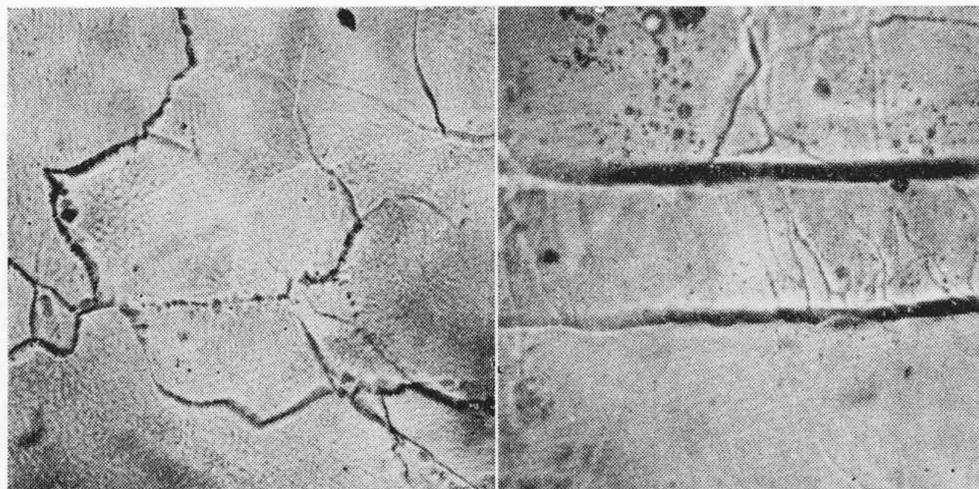
試験は試験温度に昇温後、約20時間該温



第10図 品種および粒度によるクリープ曲線の相異 (346°-3 kg/mm²)

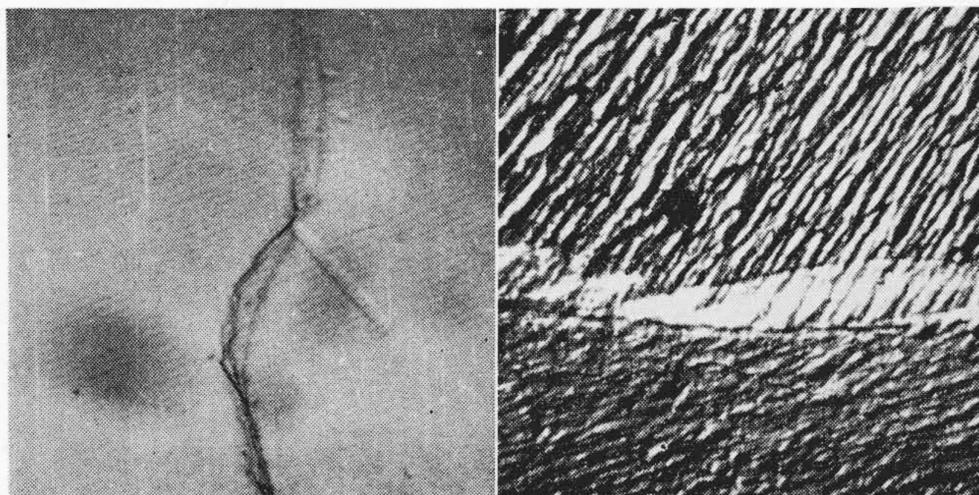
D: 第5番目の品種
Fig. 10. Difference in the Creep Curves of Four Kinds of OFHC and Their Grain Sizes at 346°-3 kg/mm²

D: the fifth kind of OFHC



第11図 クリープによる亜結晶粒界の形成 (×400)
Fig. 11. Sub-boundaries produced by creeping (×400)

第12図 双晶の平行な境界における歪り (×400)
Fig. 12. Distortions at the Coherent Grain Boundaries (×400)



第13図 クリープによる粒界の移動 (×1,250)
Fig. 13. Grain Boundary Migration by Creep (×1,250)

第14図 クリープ後の粒界 (×3,000)
Fig. 14. Grain Boundary after Creep (×3,000)

度に保持してより開始し、試験時間は150時間を予定した。

実験領域は第2表の通りである。

なお、試験片はあらかじめ電解研磨を行つてより、試験機に設置し、試験終了後ただちに表面を鏡検しうるよう意図した。

〔IV〕 実 験 結 果

(1) クリープ曲線

第7図は伸一時間曲線の一部を等間隔の尺度で示したもの、第8図は時間軸の単位を切換えて示したものである。全実験結果は第9図に両対数目盛によつて示してある。

(2) 品種および結晶粒度の影響

第10図に品種および結晶粒度の影響を示してある。

(3) 顕微鏡組織

試験片は試験機に設置する前に電解研磨を行い、試験後ただちに鏡検しうるようにし、多数の写真撮影を行つたが、多少の酸化はまぬがれず、ときにはかなり酸化が進行している場合もあつて、組織的な結果はえられなかつた。そのうちで、多少興味があると思われるものを以下に掲げる。

第11図は亜結晶粒界を示すもので、これは結晶粒中に白く光つて見える⁽⁴⁾。452°Cで5.18 kg/mm²の応力で47時間クリープして2.3%の歪に達した試験片である。

第12図は330°Cで1 kg/mm²の応力でクリープしたAC試験片であり、きわめて安定といわれている双晶の coherent boundary がたがいになつているところが見られる。

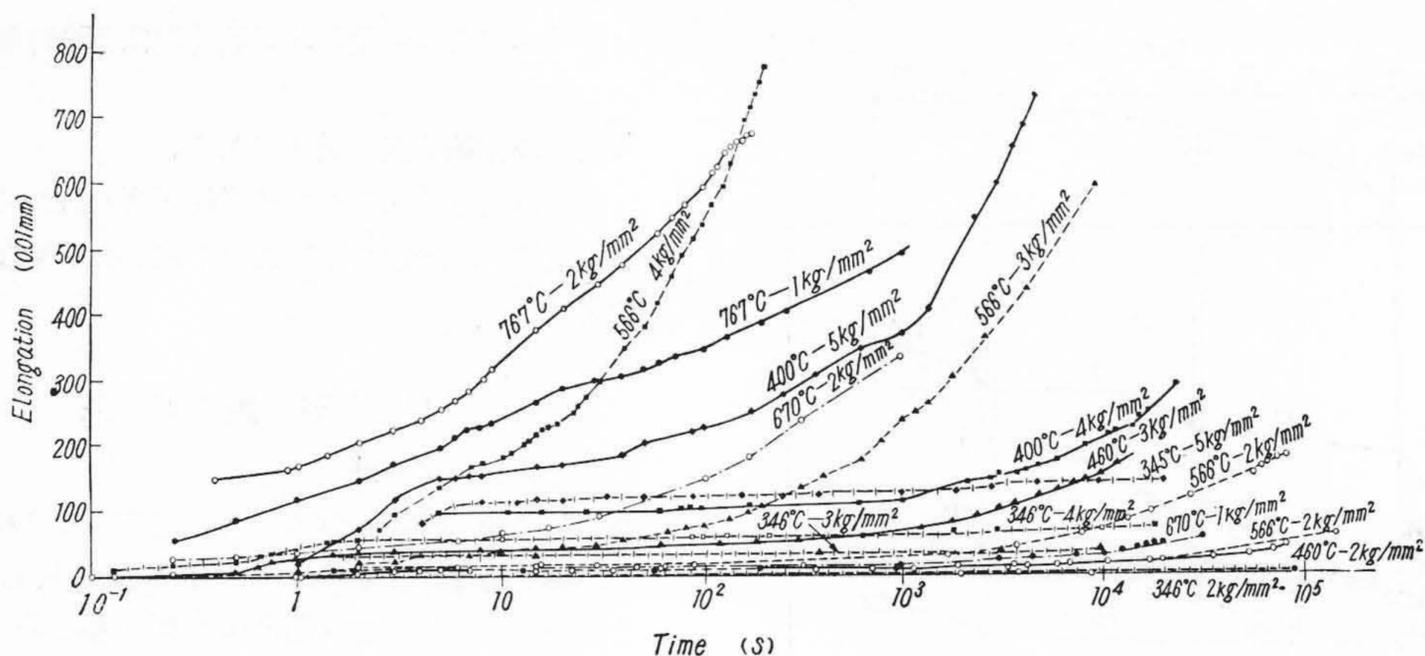
第13図は346°Cで3 kg/mm²の応力で15時間クリープして2%伸びたVM試験片の粒界の移動の様で、曲線ではなく、折線であららしい粒界が形成されており、これは粒界近傍の亜結晶粒形成による多角化とも、また写真の一部にあらわれているように双晶の発生とも考えられ、さらに検討を要する興味を引く現象である。

第14図は第13図と同一の試験片のほかの部分の粒界の電子顕微鏡写真である。

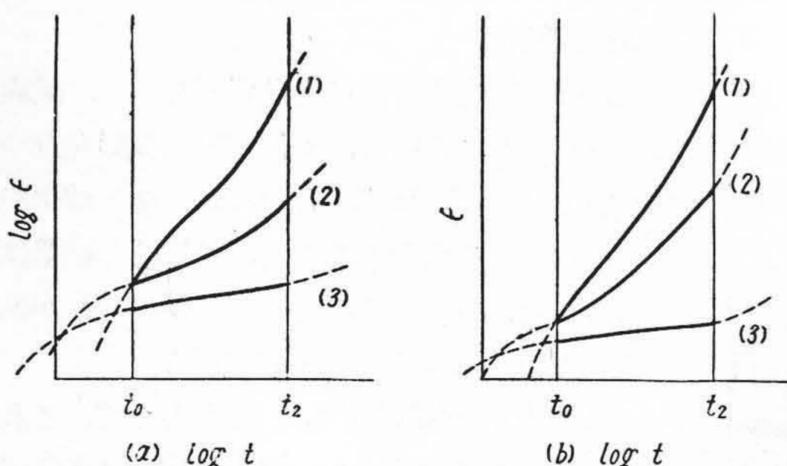
〔V〕 検 討

(1) 品種および粒度

第10図によれば4種類の無酸素銅のうち、塑性に関してはVがもつともよい。また、結晶粒度については、二次再結晶を起した粗



第15図 試料 AM によるクリープ曲線 (片対数目盛)
Fig. 15. Creep Curves of AM in Semi-log Scales

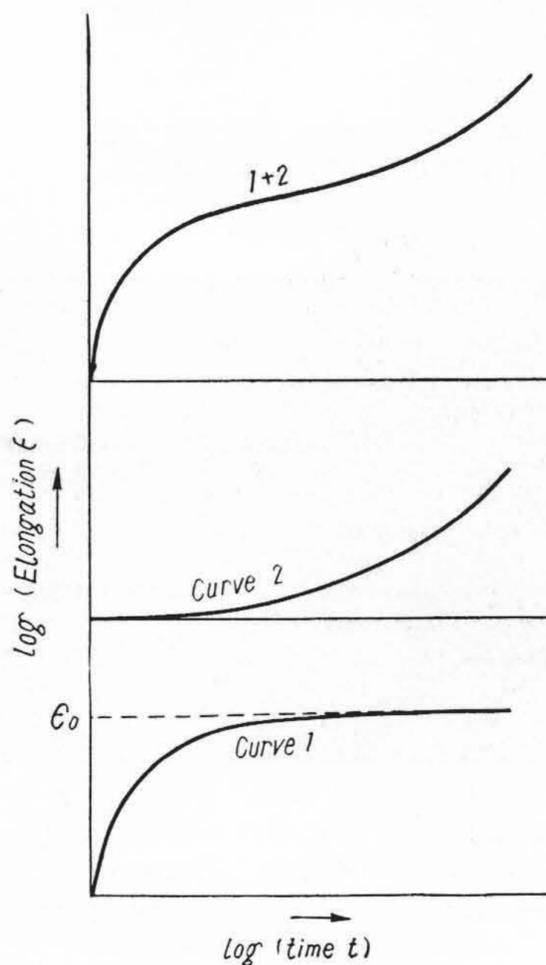


第16図 クリープ曲線におよぼす試験温度 $T(^{\circ}K)$ 、試験応力 $\sigma(kg/mm^2)$ の影響
 T または $\sigma: (1) > (2) > (3)$; t_0 : 測定開始時刻; t_2 : 試験終了時刻
Fig. 16. Effect of Testing Temperature $T(^{\circ}K)$ and Testing Stress $\sigma(kg/mm^2)$ on Creep Curves
(1) $>$ (2) $>$ (3) in Tor σ
 t_0 : Beginning of Measurement
 t_2 : End of the Test

大結晶粒 C のものが最大の伸を示している。加工のままの微細結晶粒 F のものは初めの伸は小さいが以後のクリープ速度は大きい。これに反して、焼鈍材 M は初めの伸びは大きいが以後のクリープ速度は小さい。これは F は試験中に再結晶をおこすからである。また C は一試験片中に数箇の結晶粒を含むにすぎず、試験温度は粒界における変形が全伸中の大きな部分を占めるような温度領域であるので、試験片によつてはクリープ速度が M よりも小さい場合もある。

(2) クリープ曲線の形状

第7図からわかるように $10^{-1} \sim 10^5$ 秒にわたるクリープ曲線を正規の方眼で示すことはきわめて困難である。そこで、片対数目盛によつて時間軸を、あるいは両対数目盛によつて時間軸および伸軸を縮尺することが考えられる。両対数にとつた場合は前掲の第9図、片対数の場

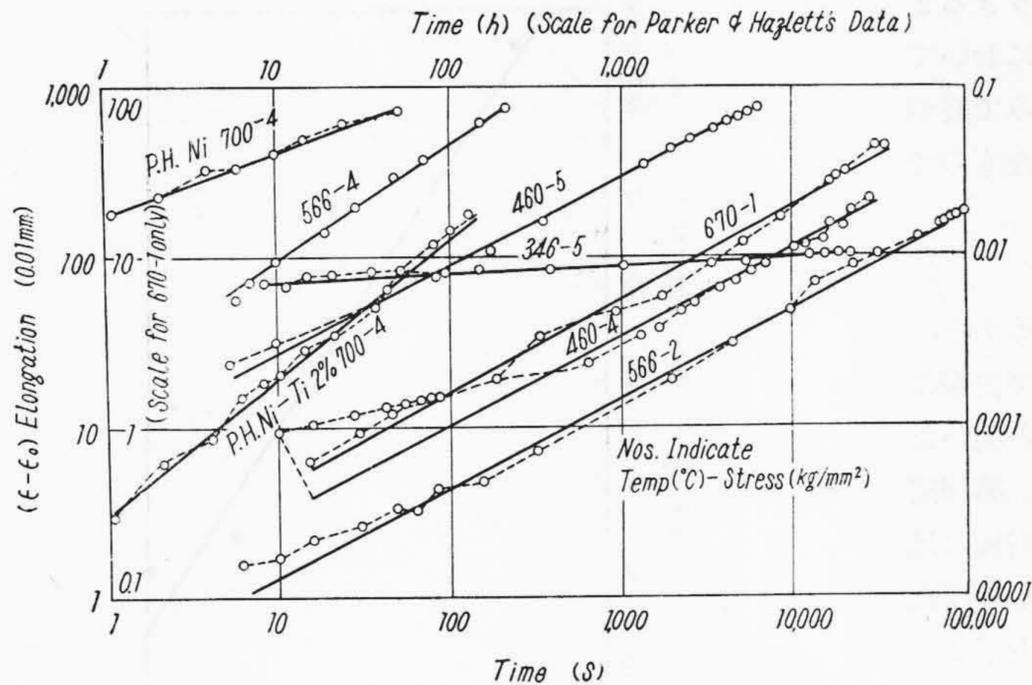


第17図 両対数目盛における定応力クリープ曲線の構成
Fig. 17. Construction of Constant Stress Creep Curve when Plotted in log-log Scales

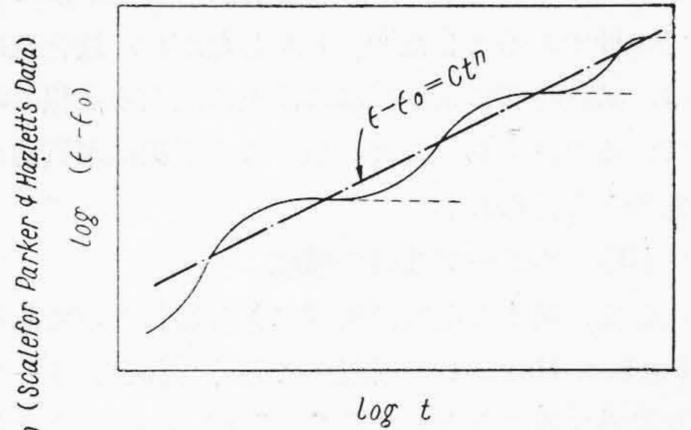
合は第15図のごとくなる。

この2つの場合のクリープ曲線の試験温度または試験応力に対する依存性を定性的に示すと第16図のごとくなる。この図からクリープ曲線を両対数または片対数目盛にとつた場合は本質的には逆S字状になるものであるが、応力、温度、伸測定開始の時刻および間隔、さらに試験時間のいかんによつて、実測された曲線には上に凸または下に凸のもの、あるいは弯曲点を持つものの3つの場合のあることがわかる。

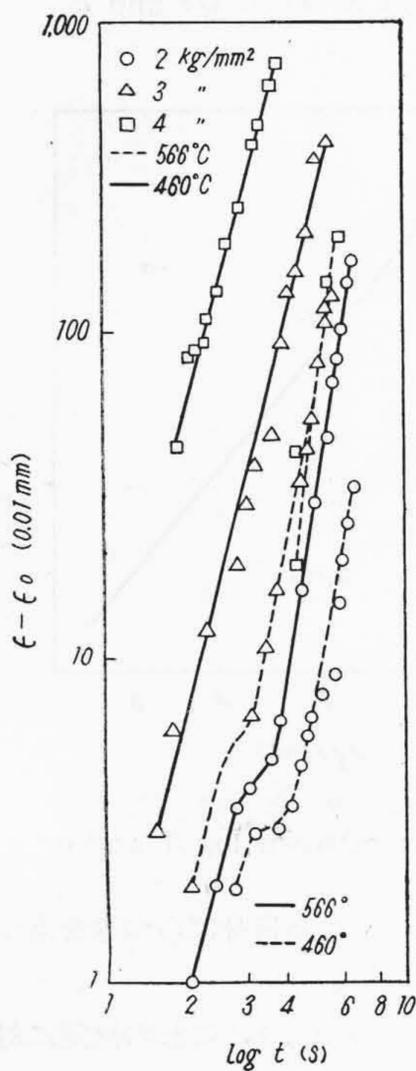
第17図にさらにこの逆S字状曲線を分解したものを示すが、はじめにあらわれるのは上に凸なる曲線1であり、これは漸次水平に近づき、ある時間を経過したあとは飽和値 ϵ_0 に達するものと考えられる。逆S字状曲線



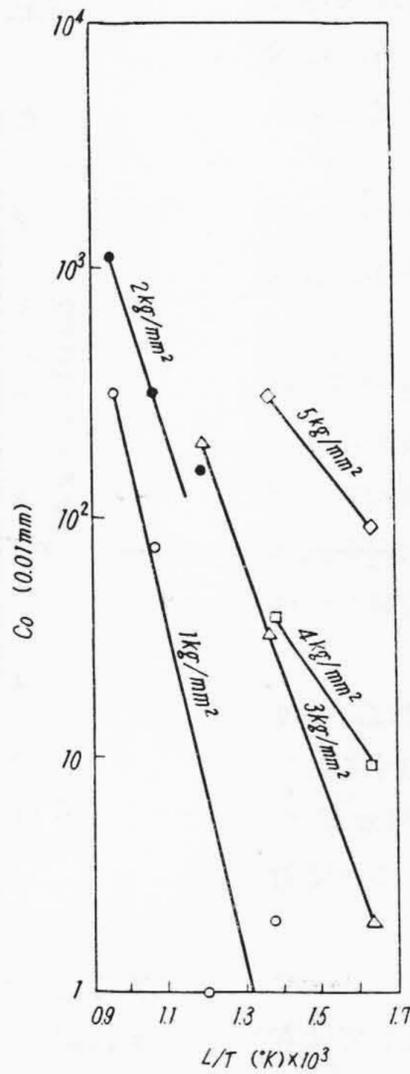
第18図 試料 AM および Hazlett & Parker の Ni に関するデータの $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log t$ 曲線
 Fig. 18. $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log t$ Curves of the Data on AM and Those of Hazlett & Parker on Ni



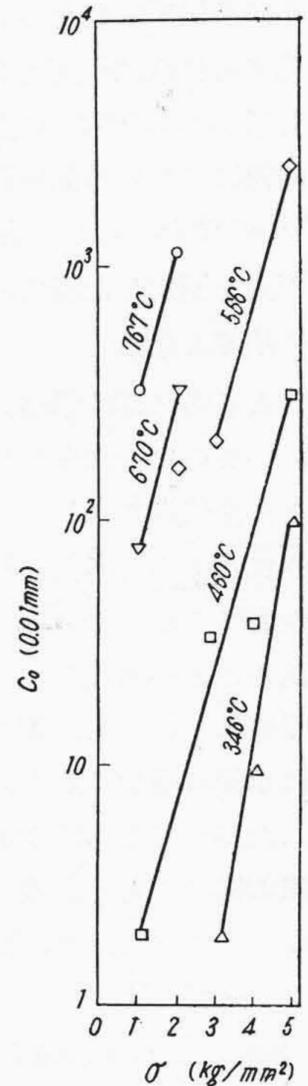
第19図 $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log t$ 曲線の分解
 Fig. 19. Decomposition of $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log t$ Curves into Curves each having Induction Periods Respectively



第20図 $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log(\log t)$ 曲線
 Fig. 20. $\log(\epsilon - \epsilon_0) - \log(\log t)$ Curves



第21図 σ をパラメータとした C_0 と T との関係
 Fig. 21. Relation between C_0 and T with σ as the Parameter



第22図 T をパラメータとした C_0 と σ との関係
 Fig. 22. Relation between C_0 and σ with T as the Parameter

からこの上に凸になる曲線1を差引けば、初めより暫くの間は伸はきわめて少く、ほとんど時間軸に一致し、曲線1が飽和するころより漸次上昇して下に凸なる曲線2があらわれるものと考えられる。従つて第2の曲線はあ

る潜伏期間をもつことになる。

Hazlett, Parker は第1の曲線を見捨てる、この飽和値に相当する伸の値を ϵ_0 として全伸 ϵ より差引き、第2の曲線のみを扱っている⁽⁵⁾。筆者が第1の曲線の存在を

指摘したのに対し、かれらはこれを荷重がかゝりきるまでの伸であるとした⁽⁶⁾。しかしながら、鉄合金においては、試験時間によつてには上に凸なる曲線のみで終わっている場合もあることから、この形状は本質的なものであると考えられる。

(3) クリープ曲線の構成

いま、第1の曲線は初期にあらわれるのであるから、Parker, Hazlett の所説のごとくこれをクリープ曲線より除外することとし、その飽和値 ϵ_0 を ϵ より差引いたものを両対数目盛に入れたものを第18図に示す。第18図には Parker, Hazlett のデータも上軸および右軸の尺度で示してある。これによればいずれのデータもほぼ直線で近似しうるが、実測値はこの直線を中心に上下にうねつており、これは実験誤差よりはるかに大きい。このことから第2の曲線は単一の曲線ではなく、それぞれ潜伏期をもつた曲線群の集りと考えることができる。あたかも第19図に図式的に示すごとくである。

このように潜伏期を経たのち、漸次変化を起し最後に飽和値に達する曲線は歪速度を $\dot{\epsilon}$ 、時間を t 、 A 、 α 、 k を常数として $\dot{\epsilon} = Ae^{-\alpha t} tk$ の型で書くことができるからクリープ曲線はこれらの曲線群の集りとして $\epsilon - \epsilon_0 = \sum_i A_i e^{-\alpha_i t} t k_i$ として表現することができる。データにこの式を適用した所では適否相半ばするが、計算はきわめて煩雑となる。

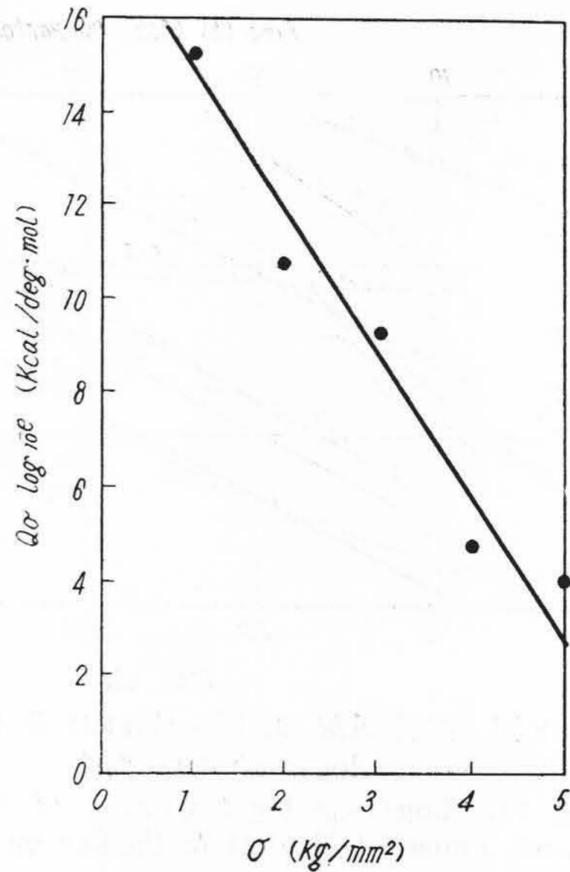
かくのごとき潜伏期は単結晶の場合には報告⁽⁷⁾⁽⁸⁾されているが、いまの場合は多結晶体であり、箇々の結晶の変形がたとえ潜伏期を示しても、全体としては滑らか曲線に集成されるものと考えられるので、上記の現象はさらに検討を要するが、クリープ曲線はかなり複雑な性格のものであることが考えられる。

片対数目盛においても、第1の曲線を差引けば、クリープ曲線は単調に増加する下に凸な曲線に近似することができ、したがつてさらに $\log(\epsilon - \epsilon_0)$ vs. $\log(\log t)$ をとれば、第20図のごとく直線に近似しうるが、これは対数の対数をとることになり、精度が乏しい。

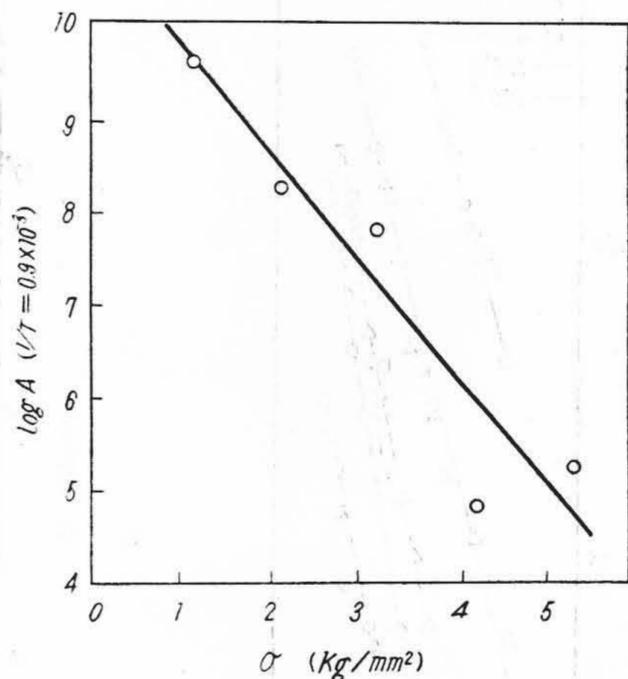
(4) クリープの式

前節で $\log(\epsilon - \epsilon_0)$ vs. $\log t$ が第1次近似としては直線と見做しうることを示した。したがつて n をこの直線の勾配、 C を常数とすればクリープ曲線は $\epsilon - \epsilon_0 = C t^n$ で近似されることになる⁽⁵⁾。

この常数 ϵ_0 、 C および n が試験温度 T (°K)、試験応力 σ (kg/mm²) といかなる関係を有するかを検討したが、 ϵ_0 および n に関しては首肯しうるような関係を見出すことができなかつた。 ϵ_0 がばらつくのは純金属のようにきわめて塑性に富む材料において ϵ_0 を決定する要素は材質的には結晶粒の大きさ、結晶粒および結晶粒界の



第23図 $Q\sigma$ と σ との関係
Fig. 23. Relation between $Q\sigma$ and σ



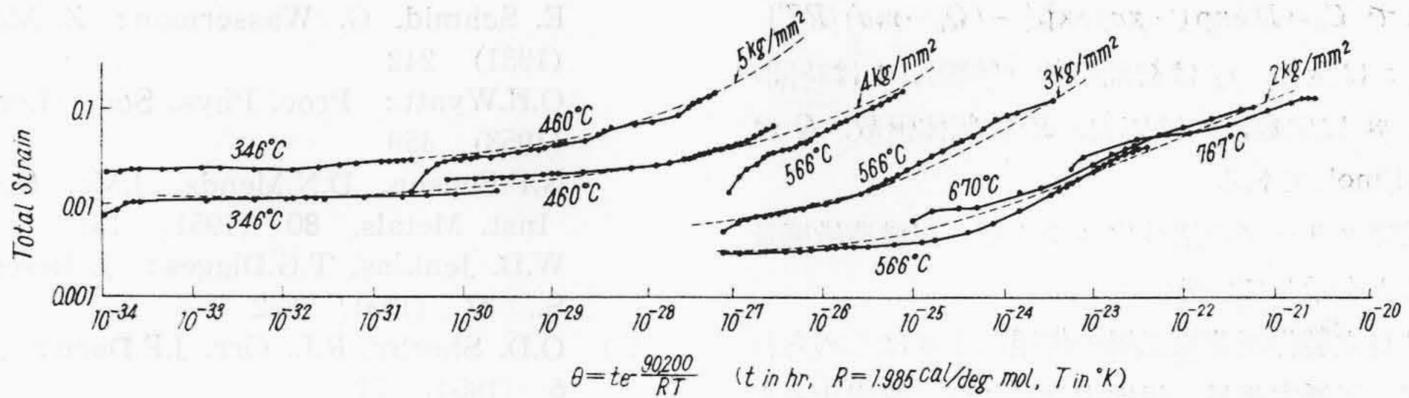
第24図 $\log A$ と σ との関係
Fig. 24. Relation between $\log A$ and σ

方位が主たるものであり、これら自身ばらつきをもつ量であるためであろう。

n は線図から求められる量であり、この決定に対して ϵ_0 が大きな作用をもつため n もまたばらつくことになる。

なお、合金の場合には ϵ_0 は主として存在する各相の格子歪と析出物などによつて定まり、結晶の大きさや結晶および粒界の方位の影響はこれに陰蔽されるため、ばらつきが少くなるものと考えられ、純金属の場合には ϵ_0 は統計的に決定しなければならぬようである⁽⁹⁾。

C については C_0 として 1,000 秒における $\epsilon - \epsilon_0$ をとり、これを T および σ に対してとると第21図および



第25図 全歪とθとの関係
Fig. 25. Strain vs Temperature Compensated Time θ

第22図のごとくになる。第21図における勾配を Q_σ として $0.434 Q_\sigma$ と σ との関係をとると第23図のごとくになる。したがって

$$C_0 = A \exp\{-(Q_0 - m\sigma)/RT\}$$

なる関係がえられる。ここに Q_0 は活性化エネルギーで 39.4 Kcal/mol , R は気体恒数, m は $3.3 \times 10^3 \text{ c.c/mol}$ となる。

更に A として $1/T = 0.9 \times 10^{-3}$ の C_0 をとり, σ との関係を求めれば第24図のごとくになるから

$$C_0 = D \exp(-x\sigma) \exp\{-(Q_0 - m\sigma)/RT\}_0$$

一方, 第21図からは

$$C_0 = B \exp\{\alpha(T)\sigma\}$$

なる関係がえられ, 第22図の各直線の勾配 α と $1/T$ との間に直線的関係を認めれば

$$C_0 = B \exp(-x'\sigma) \exp(m'\sigma/RT)$$

と書くことができる。ただし, x' および m' は常数である。この m' は $1.4 \times 10^3 \text{ c.c/mol}$ で m と同一桁にある。

(5) 金属の機械的状態方程式⁽¹⁰⁾ (mechanical equation of state of metals) と温度-時間等価説⁽¹¹⁾ (temperature compensated time theory)

Hollomon は金属の機械的性質に関して, 焼鈍状態においては温度 T , 応力 σ , 歪 ϵ および歪速度 $\dot{\epsilon}$ の間には一義的な関係があり, これはあたかも気体において圧力 P , 体積 V および温度 T の間の一義的な関係, すなわち気体の状態方程式であることに相当し, これを金属の機械的 (性質に関する) 状態方程式と名付けた。これによればクリープの活性化エネルギーは応力 σ と

$$Q_\sigma = Q_0 - a \log \sigma$$

なる関係を有することとなり, これは活性化エネルギーは構造敏感量であることを示している。

一方, Dorn はクリープした材料の X 線解析を根拠として, temperature compensated time $\theta (\epsilon = f(\theta))$, $\theta = \int \exp(-Q/RT) dt$ なる量を定義し, $\log \epsilon - \log \theta$ をとれば, これは同一応力に対しては試験温度のいかんにかかわらず一致し, この際の Q はその金属の自己拡散のエネルギー Q_D と一致し, 応力および少量の不純物の

影響を受けないとした。これはクリープの活性化エネルギーが構造鈍感量であることを主張するものである。

かく Dorn のいう活性化エネルギーは Hollomon のそれとは異なるが, Dorn のとなえる θ なる量は状態方程式にもとづいて, 計算しても導出されるものであつて, 状態方程式そのものの存在を否定するものではない。

本実験によれば, $Q_\sigma = Q_0 - m\sigma$ であつて, これは実質的には Hollomon の活性化エネルギーの式と変らない。

さらに Dorn の方法にしたがつて $\log \epsilon - \log \theta$ 線図において, 同一応力のクリープ曲線がなるべくよい一致をみるよう Q をえらぶと第25図のごとく $2 Q_D$ ⁽¹²⁾ となる。

以上の2点から本実験結果はクリープの活性化エネルギーが構造敏感量であるとする説を支持するものようである。

[V] 結 言

無酸素銅4種類を $193 \sim 767^\circ\text{C}$ の温度で, $1 \sim 5 \text{ kg/mm}^2$ の一定応力で窒素雰囲気中で約150時間引張りクリープ曲線を求めた。これにより真空管熔封部設計の資料としてのデータをうるとともに下記のごとき結果をえた。

- (1) 4種類の無酸素銅のうち, もつとも塑性に富むものは真空熔解によるものであつた。
- (2) 加工のままのものと焼鈍材とでは初期の伸は前者の方が少く, 以後のクリープ速度は後者が小さい。
- (3) クリープ曲線は両対数に目盛れば, 本質的には逆S字状を示すものであるが, 温度, 応力, 測定開始の時刻および測定の時間間隔ならびに試験時間により, 上に凸あるいは下に凸, または湾曲点をもつ曲線として実測される。
- (4) 上に凸なる曲線は実験開始後漸時飽和に達し, これに対して下に凸なる曲線は実験開始後ある程度の潜伏期間を経てあらわれ, さらにこの曲線は種々の潜伏期間と飽和値を有する曲線群に分解しうる可能性がある。
- (5) クリープ曲線は $\epsilon - \epsilon_0 = C t^n$ なる式を以て近似され

る。ここで $C_0 = D \exp(-x\sigma) \exp\{-(Q_0 - m\sigma)/RT\}$
ただし、 ε は全伸、 ε_0 は初期の伸 (常数)、 t は時間、
 n 、 D 、 x 、 m は常数、 σ は応力、 R は気体恒数、 Q は
39.4 Kcal/mol である。

(6) 上式はクリープの活性化エネルギーが構造敏感量
であることを示している。

本実験は日立製作所茂原工場の徳瀬によりはじめられ
たもので同工場橋本部長、伊地山課長に深く感謝するも
のである。

また、日立製作所中央研究所馬場名誉所長、菊田所
長、湯本、南波両主任研究員ならびに岩田研究主任の日
頃の御指導と所内各位の御援助に深謝するとともに、種
々有益なる御指導と御示唆を賜わった東京大学芥川、橋
口両教授にも深く感謝の意を表するしだいである。

参考文献

- (1) E.A. Davis: J. Appl. Mechanics, 10 (1947) A 101
H.L. Burghoff, A.T. Blank: Proc. Amer. Soc. Test. Materials, 46 (1946) 725
A.D. Schwope, K.F. Smith, L.R. Jackson: J. Metals, 185 (1949) 409

- E. Schmid, G. Wasserman: Z. Metallk., 23 (1931) 242
O.H. Wyatt: Proc. Phys. Soc., (London) 66B (1953) 459
N.P. Benson, D.N. Mends, J. Mc. Keown: J. Inst. Metals, 80 (1951) 131
W.D. Jenkins, T.G. Digges: J. Research N.B. S., 47 (1951) 272
(2) O.D. Sherby, R.L. Orr, J.E. Dorn: J. Metals, 6 (1954) 71
(3) A.G. Ward, R.R. Marriott: J. Sci. Instr., 25 (1948) 147
(4) D. Mclean: J. Inst. Metals, 80 (1951) 507
(5) T.H. Hazlett, E.R. Parker: J. Metals, 5 (1953) 318
(6) Private Communication from T.H. Hazlett
(7) H. Burghoff, C.H. Mathewson: Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., 143 (1941) 45
(8) A.H. Cottrell, V. Aytakin: J. Inst. Metals, 77 (1950) 194
(9) 大原: 高純度ニッケルのクリープ 未発表
(10) J.H. Hollomon, J.D. Lubahn: Gen. Elec. Rev. Feb & April (1947)
(11) J.E. Dorn: J. Mechanics & Phys. Solid, 3 (1954) 85
(12) M.S. Mainer, H. R. Nelson: Trans Amer. Inst. Min. Met. Eng. 147 (1942) 39

本誌では昭和30年3月別冊 No. 9 として、電線ケーブル特集号を発行し当時の最新の技術紹介を行い、各方面より絶賛をえた。

その後新材料の出現、新技術の開発などにより性能の進歩向上は特に目覚しく、幾多の研究成果をあげるとともに多くの記録製品、新製品の完成を見た。

弊社はここに電線ケーブルに関する最近の技術の成果中より下記題目を選び日立評論別冊 No. 15 電線ケーブル特集号第2集とし、10月上旬発行した。なにとぞその御愛読をこう。

- | | |
|-----------------------|-----------------------|
| ◎ ローラダイス伸線法の特長 | ◎ 不均等通信線路における伝送方程式の解法 |
| ◎ ACSR の防蝕処理 | ◎ 各種局内ケーブルの諸特性 |
| ◎ チャンネルブス設計上の二三の問題 | ◎ カッド遮蔽市外ケーブルの諸特性 |
| ◎ 銀入銅の再結晶に関する研究 | ◎ 着色ビニル電線用混和物の耐候性 |
| ◎ ケーブル油の放電による劣化 | ◎ ケルーF系弗素樹脂被覆電線の特性 |
| ◎ 低ガス圧ケーブルの構造に関する一考察 | ◎ 耐熱マグネットワイヤの諸問題 |
| ◎ 高電圧ブチルゴム絶縁電力ケーブルの設計 | ◎ 各種エナメル線の諸特性 |

東京都千代田区丸の内1-4
(新丸の内ビルディング7階)

日立評論社

誌代特集号1冊 ¥100 円16
(振替口座 東京 71824 番)