

れによると析出硬化は溶体化処理温度の高くなるに従つて著しく、最高硬度の得られる再加熱温度は溶体化処理温度の高くなるに従つて低温側に移動する。又 W 量に依つては W の高くなるに従つて最高硬度の得られる時効温度は高温側に移動する。

次に時効時間と硬度及び顕微鏡組織との関係を調べた。

#### (8) モリブデンの影響

前述と同様に Mo 2.0~8.0% の影響を調べた。各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。而して Mo 4.16% の試料のみは 1200°C で最高硬度を示す。次に各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて最高硬度の得られる時効温度は概ね低温側に移動する。

次に時効時間と硬度及び顕微鏡組織を調べたが、Mo の少い試料は細い炭化物がオーステナイト地中に析出した組織であるが Mo が高くなるに従つてより多く異常な炭化物が結晶粒界に沿って析出する。この炭化物は一部 Cr を含んだ Mo を主体とする炭化物と思われる。

#### (9) モリブデン+タングステンの影響

前述と同様 W+Mo (2+4)~(4+2) % の影響を調べた。各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。而して 1250°C の溶体化処理温度で特に著しい。次に各溶体化処理温度の試料の時効温度による硬度の変化並びに顕微鏡組織を調べたが前述の Mo の影響の場合と同じ傾向を示し W より Mo の方の影響が著しい。

### III. 結 言

以上ガスタービン用耐熱鋼 Ni-Cr-Co 系について C, Si, Mn, Ni, Cr, Co, Mo, Mo+W の個々の影響を調べた。特に溶体化処理温度、時効温度及び時効時間の硬度及び組織に及ぼす影響を究明した。これによつて C は熔接の場合は C 量 0.15% 以下が望ましいが植込みの場合は C 0.3~0.4 が適当と思われる。Si は 0.5~1.0, Mn 1.5~2.0, Ni 13~15, Cr 20~25, Co 10~15, W+Mo は (3.0~5.0)~(5.0~3.0) % が適当と思われる。なお更にクリープ限、疲労強度等を究明してその適当量を定める必要がある。

## (74) 耐熱鋼の長時間クリープ試験に就て (I)

(Long Time Creep Test on Heat-Resisting Steel. I)

東京大学教授 ○芥 川 武  
三菱日本重工横濱造船所 岡 崎 正 臣  
東京大学大学院学生 藤 田 利 夫  
" 高 石 昭 吾  
清水商船大学機関科 竹 村 數 男

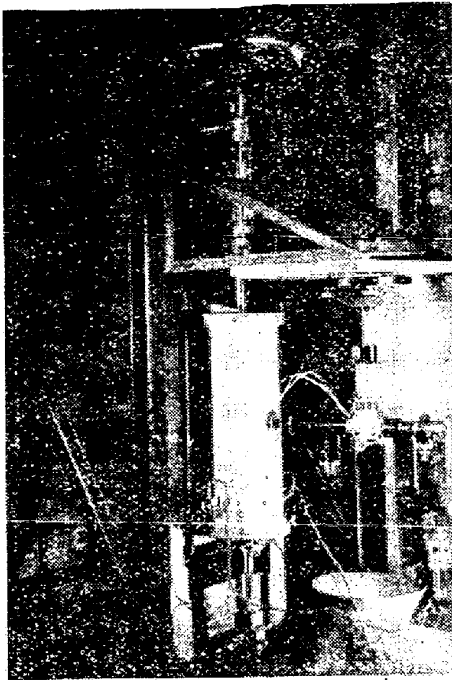
### I. 緒 言

最近のガスタービン、ジェットエンジンの急速な進歩に依り、その材料の高温の性質を知る上から、クリープの研究が極めて重要な位置を占めるに至つた。これ等の機械の寿命が非常に長い為、クリープ速度の精密な測定が必要とされる。この種の材料の耐熱合金鋼の場合、従来多く行われていた 50 時間以内の短時間クリープ試験では未だ初期クリープ乃至は初期クリープから定常クリープに移る中間段階の遷移クリープを知るに過ぎず、定常クリープ速度を出すことは出来ない。又初期或は遷移クリープから定常クリープ速度を正しく外挿する事は現在に於いて不可能である。A.S.T.M. の規定 (E22~41) に依れば試験時間は設計寿命の 10% 以上を可とし、1% 以下の試験結果で外挿してはならない。蒸気タービンを例にとると、少くとも 10 年以上の寿命が要求され、この為には、1000 時間以下の試験結果を使用する事は出来ない。ここに著者等は長時間精密クリープ試験法を確立し、実際に長時間クリープ試験を行う為、その設計を行い、19~9 不銹鋼についてクリープ試験を行った。第 1 報として、その試験装置並びに試験法について報告する。

### II. 試験装置及び試験法

#### (i) 試験機

U. S. Steel Corp 型の試験機を改良した 堅型試験機を使用した。(第 1 図参照) この型の長所は垂直軸方向に荷重を加える事が容易な事、短所は炉内試験片の上下の温度差が大きくなり易い点である。試験片をネジでチャックに固定し、アームに接続する。上下のアームはそれぞれ 2 個のナイフエッジを直交して入れて、下端は固定し、上端は荷重用横杆の一端に支えられる。試験機の高さは 1.8m 容量は 1.5ton であり、横杆の長さは 1m で横杆比は 1:9 になつている。チャック及びアームは、耐熱鋼を使用し、ナイフエッジには、工具鋼を



第 1 圖

その他の部分には炭素鋼を使用した。

#### (ii) 試験片

試験片の大きさは、表面の酸化が問題とならない限り、測定結果に何らの影響も及ぼさないと考える。著者等が採用した試験片の大きさは直径 9.1mm (0.357in), 平行部の長さ 63.6mm (2.5in) のものである。試験片の仕上精度は A.S.T.M. 規格通り  $\pm 0.5\%$  以内である。

#### (iii) 電気炉

高さ 52cm, 外径 18cm, 内径 7cm の円筒形の割型電気炉を使用し、ニクロム線コイルを高アルミナの耐火煉瓦に刻んだ溝の中に埋め込む。対流に依つて炉内の上部は下部よりも高温になり易いから、電熱線の両端特に下部を密に巻く。炉内の空気流動は試験片の酸化を促進するから、これは避けなければならぬ。

#### (iv) 温度の調整及び測定

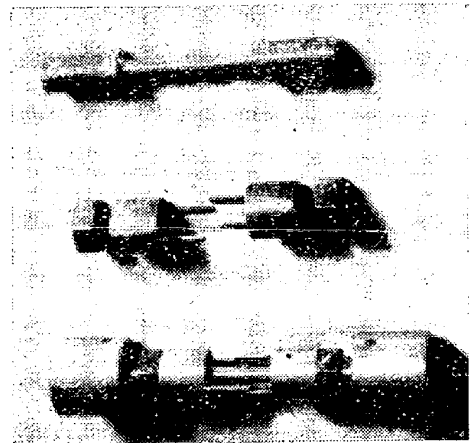
クリープ試験に於いて、最も重要な問題で詳細は別報に述べる。自動電圧調節及び自動温度調節の 2 段調節を行い、 $+0.8^{\circ}\text{C} \sim -0.2^{\circ}\text{C}$  以内の精度で温度を調節している。試験片の温度測定は正確にしなければならないから、精密級電位差計と鋭感検流計を使用し、熱電対には、白金、白金ロジウム熱電対を使用した。

#### (v) 伸びの測定

荷重用楯杆にダイヤル・ゲージ又は廻転ドラムを取付けて、測定又は記録する方法はナイフエッジやチャックの変位及びアームの温度変位に依る伸びなどの誤差を生ずるので、高精度を要する測定には適しない。又マルテ

ンス型のエクステンソメータも感度を  $2 \times 10^{-6}$  に維持するには、炉外に延長されたメンバーの室温変化に依る伸縮を考慮する必要が生じ困難が伴う。従つて著者等は、電気炉の窓を通して、望遠顕微鏡 (倍率 100 倍) で直接測定する方法を採つた。

即ち試験片の上下端にナットで締付けた腕に白金板を取付け、(第 2 図参照) その白金板に目盛を刻んで、目盛



第 2 圖

の変化を望遠顕微鏡でバーニアを使つて読む。この方法では室温の影響は顧慮する必要がなく、感度は  $\pm 0.5 \mu$  程度である。

#### (vi) 試験準備

試験片を試験機に取付けた後、常温で荷重を掛けて [歪-応力曲線から]、ヤング率を求め、伸び測定装置の機能を確認すると共に、試験片が正確安定な状態にあることを確認してから加熱する。これは重要な意味を持つもので、これを行わないと、クリープ歪に機械的誤差が大きく入る事がある。それは試験片のネジの切り方に依り、荷重を加えた時、試験片に曲げ応力が掛かる事があるからである。

加熱するときには、所定の温度よりわずか高温にして 10 時間位置き、それから所定温度に下げて温度を正確に保持する。その間、荷重を掛けるまで、30 時間位保持し、試験片の上下の温度を調節し、 $1^{\circ}\text{C}$  以内にする。

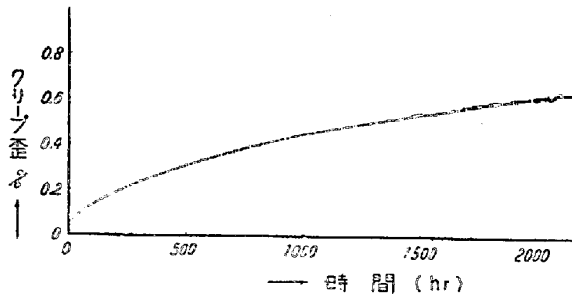
荷重を加えた後は、適当な時間を置いて伸びを測定する。最初の間は 30 分乃至 1 時間毎に測定する。

### III. 試験結果

実際にクリープ試験を行つた試験片の成分は次の如し

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
0.11	0.45	0.32	0.010	0.013	19.01	8.98

熱処理は  $1050^{\circ}\text{C}$  より油焼入したもので試験温度は、 $650^{\circ}\text{C}$ 、荷重は  $6.5 \text{ kg/mm}^2$  で試験時間は 2300 時間で



第3圖 クリープ歪-時間曲線

ある。この結果をクリープ歪-時間の曲線として、第3図に示す。1000時間以後に於いて大体クリープ速度が一定値に近づきその値は  $2.0 \times 10^{-4} \% / \text{hr}$  となっている。

### (75) クリープ試験の温度調節装置に就て

(Temperature Control Apparatus for Creep Test)

東京大學教授 ○芥川 武  
同 助教授 三山 肇  
同大学院學生 藤田 利夫

クリープ試験で最も重要な問題は温度調節である。温度調節の精度に就いては、B. S. I. A-23 では、 $600^{\circ}\text{C}$  以下の場合  $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、 $600 \sim 1000^{\circ}\text{C}$  に対しては  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、 $1000^{\circ}\text{C}$  以上に対しては、 $\pm 4^{\circ}\text{C}$  と規定している。

一般に使用されている温度調節は次の二種類に大別される。

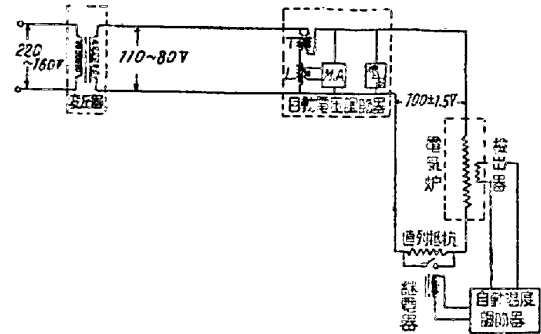
- (I) 断続式温度調節器 (on-off controller)
  - (i) 熱電式 (可動線輪式) 温度調節器
  - (ii) 電位差計式温度調節器
- (II) 比率式温度調節器 (Proportional controller)
  - (i) リアクトル式温度調節器
  - (ii) サイクロン式温度調節器
  - (iii) 電子管式温度調節器

これ等のうちで、精度が良く動作が比較的安定で、しかも製作の容易な比率式の電子管温度調節器を採用した。

尙我が国の電力事情では、電源電圧の変動が大きい為、自動電圧調節器を使用して、電圧を基準値の  $\pm 1.5\text{V}$  程度におさえた。

我々の採用した温度調節方式を図解すれば、第1図の如くなる。

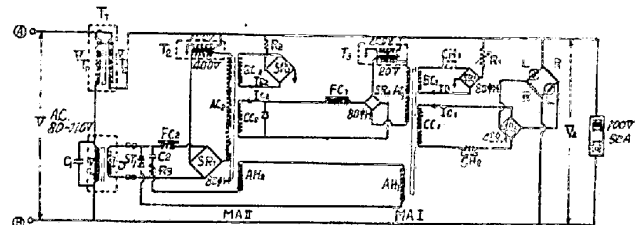
この様にして、著者等は、電気炉内の試験片の温度を  $650^{\circ}\text{C}$  に於いて  $+0.8^{\circ}\text{C} \sim -0.2^{\circ}\text{C}$  以内の精度で調節している。



第1圖 温度調節回路図

#### 自動電圧調節器

一般に、電圧調節器は誘導電圧調節器、鉄共心性電圧調節器等が良く使用されているが、前者は可動部分を有し、後者は周波数の影響を受ける為、著者等の実験室では、第2図の如き自動電圧調節器を試作し、極めて良い結果を得ている。



天印は接点 ㊦は接続

第2圖 5kVA 自動電圧調節器回路図

これは、単巻変圧器  $T_1$  と直流制御リアクトル  $L$  を用い、リアクトルの直流励磁電流を磁気増巾器により変化させて、負荷の端子電圧を一定に保つ、一種の位相制御を行つている。

この回路の出力電圧一定維持条件に於ける各部の電圧ベクトルの関係は (記号は第2図を参照)

$$V_L + V_{T1} = V_1 \quad V_1 + V_{T2} = V_2$$

$$V_1 = kV_2 e^{j\theta} \quad V_{T1} = aV_{T2}$$

$k$  は  $V_1$  と  $V_2$  の大きさの比

$a$  は  $V_{T1}$  と  $V_{T2}$  の大きさの比

$$\text{故に} \quad V_L = (1+a)kV_2 e^{j\theta} - aV_2$$

となり円軌跡となる。

一次電圧  $V_1$  が減少した時には、リアクトルの励磁電流  $I_D$  が増加して、二次電圧  $V_2$  を補償せねばならないが、これには、磁気増巾器 MAI, MAII で二段の増巾を行う。即ち  $V_2$  が減少すると、 $I_{B1}$  より  $I_{C1}$  の方が減少のしかたが多く、こゝに  $\Delta I_{C1}$  を生ずる。この差に依つて磁気増巾器 MAI を動作させて、 $I_{C2}$  を基準状態から減少せしめ、更にこの  $I_{C2}$  の減少で  $I_D$  を増加せしめる。