

影響がかなり認められるのに比し、スラスト寿命試験ではほとんど差異が認められない。これは繰返し速度の速い前者の試験中疲労の進行とともに微少局所の温度上昇による影響<sup>1)</sup>によるものと推定される。

さらに両試験法ともに鉛粒が鋼中に介在物として多量に存在するとバラツキの巾が著しく減少するのが観察される。これは高応力下において、ミクロ的な内部の応力集中源を提供する剛性率の異なつたいろいろの介在物粒子の貢献の度合い、マトリックスと鉛粒および他の介在物とのぬれ(界面)特性、転位と粒子との反応機構などが主なる鍵となつているものと考えられるがさらに電顕などによる観察実証が必要であろう。なおサブゼロ処理を施した硬度の高いものはバラツキの巾が広く観察され、これらの現象に一つの示唆を与えるものと考えられる。以上鋼中の介在物の分布の様相の外にも、浸炭層の厚さ、ケース、コア部の熱処理硬度が実験結果に若干の因子となつている。以上を総括すると

(1) 早期転動寿命試験、スラスト型転動寿命試験を浸炭熱処理を施した SCM22 (SCr22) および含鉛材について行ない、応力繰返し速度の高い前者試験では鋼中鉛の影響の著しいことを認めたが一方スラスト寿命試験では Pb および Mo の有無によりほとんど差異の認められないことを知つた。これは高速の場合試験進行とともに局所的な温度上昇による影響が無視できぬことが一因であろう。

(2) SCM22, SCr22 に鉛を分散するとフレーキング発生までの繰返し数のバラツキが著しく減少し揃つてくることを認めた。しかしサブゼロ処理を行なうとバラツキの巾にわずかながら増加が認められた。

#### 文 献

- 1) 浅田, 他: 電気製鋼, 31(1960), 鉄と鋼, 49(1963), p. 1492
- 2) 関口, 他: 日本機械学会誌, 63(1960), p. 726
- 3) 上野学, 中島, 他: 金材技術研報告, 4(1961) 2, p. 73~79
- 4) 荒木透, 小柳, 大橋: 鉄と鋼, 44(1958) 9, p. 1097
- 5) 荒木透, 谷他: 鉄と鋼, 49(1963)10, p. 1490

### (147) バネ式マルチ・クリープ破断試験機について

東京大学工学部 工博○藤田 利夫

On the Spring Type Multi-Creep Rupture Testing Machine.

Dr. Toshio FUJITA.

#### I. 結 言

最近マルチ・クリープ破断試験機としてわが国では英国の Swinden 型式のものが比較的多数利用されている。しかしこれはかなり高価であるため長時間(数万時間)のクリープ破断試験を多数行なうにはかなり不経済である。著者らは、さきに Swinden 型式のものを改良して伸び測定も連続に行なえる比較的簡単なものを試作した

が、本報ではさらに横型で荷重をバネでかける非常に簡単なものを試作し、1年程度運転したので、その結果について述べる。

#### II. マルチ・クリープ破断試験機

##### (1) 試験機本体

Fig. 1 に示すごとく試験機でバネにより荷重をかけ、最大荷重は 0.8 t である。バネの引張りでは正確な荷重が得られないため、圧縮を利用して試験片には軸方向に正確な引張り応力がかかるように設計している。また補助バネにより破断時に他の試験片に衝撃がかからないように工夫をしている。このようにして試験片にかかる応力は常に試験荷重の  $\pm 1\%$  以内(直径 6mm の試験片を使用して、 $2 \text{ kg/mm}^2$  程度の応力で試験する場合は、約  $\pm 2\%$  の誤差を生ずる)に保持することができる。ただし試験片の伸びに応じてバネをしめて、規定応力にしなければならないことは勿論のことである。

また試験温度は  $550^\circ\sim 650^\circ\text{C}$  で、しかも最大応力が 0.8 t であるため試験機の引張棒は SEH4 の耐熱鋼を使用し、試験機の価格をできるだけ安くするようにした。

##### (2) 試験片

マルチ・クリープ破断試験機の試験片は小さい方が多数同時に試験ができて有利であるが著者はシングル型式の試験機と併用するため従来のものと同じ寸法のものを使用し標点距離 30mm, 直径 6mm, 全長 70mm, としている。試験片の伸び測定は連続的に行なわず破断までに数回必要に応じて電気炉からとり出し伸び測定を行なう方法を採用している。

##### (3) 電気炉および温度調節

電気炉は外径 450mm, 内径 150mm, 長さ 600mm にし、発熱体はニクロム線 ( $1.6 \text{ mm } \phi$ ) を使用し、両端部を 8mm 間隔で巻き中央部を 12mm 間隔で巻いたが炉の温度分布は中央部が約  $4\sim 5^\circ\text{C}$  高くなるが、一列に試験片を 2 本つなぐ場合、この部分は丁度チャック部(試験片の継目部)に相当し各試験片標点間の温度差は  $3\sim 4^\circ\text{C}$  以内におさえることができる。これは Swinden 型式の試験機のような電気炉のニクロム線の巻方に改良したいと考えている。

炉内にはステンレス鋼製の均熱管をいれ、この均熱管により温度分布を良くし、かつ破断したとき他の試験片に衝撃をあたえないように内部を 4 等分している。

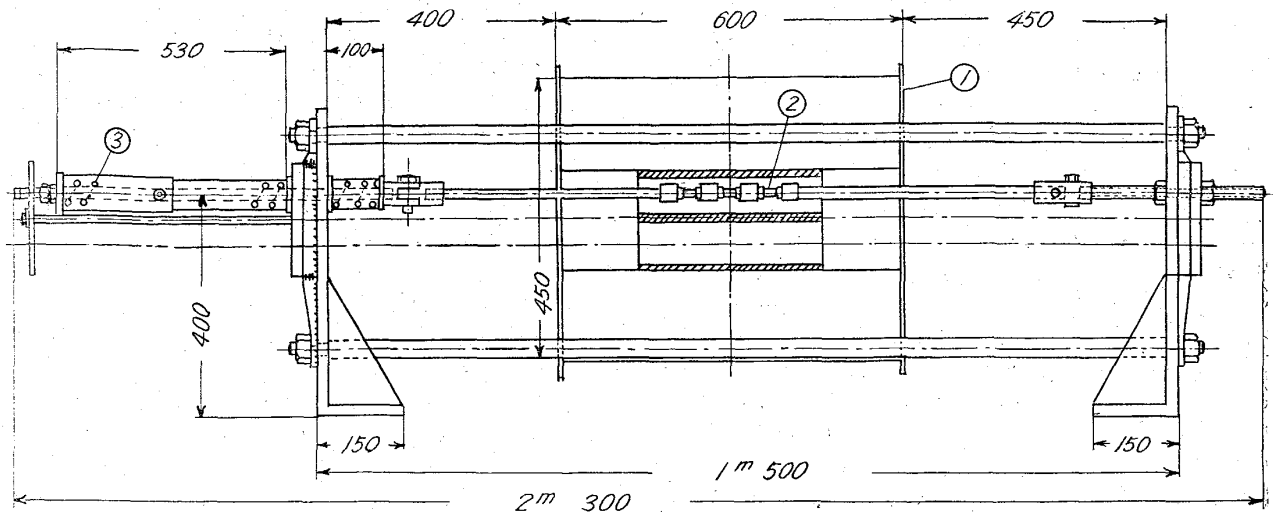
温度調節器は著者らの開発した電子管式の自動温度調節器を使用している。万一自動温度調節器が故障したときは非常用リレーが切断して試験温度以上にならないようにしている。これらにより電源電圧が  $200 \text{ V} \pm 20 \text{ V}$  程度であれば試験片はたえず  $600^\circ\text{C}$  付近で  $\pm 1.0^\circ\text{C}$  以内に保持することができる。

また試験片が破断して交換する場合でも縦型の電気炉とことなり上昇気流がないため炉内の温度分布を変化させることなしに交換できることは非常に有利である。

#### III. 実験結果

##### (1) 試料およびその熱処理

使用した試料は Table 1 に示す。S1 は  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の鍛造材で、S2 は  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の鑄造材である。S3, S4 は 12%Cr 鋼にそれぞれ Ti, Nb を添加した 12%Cr 耐熱鋼である。



① Furnace ② Test piece ③ Spring for loading  
Fig. 1. Spring type multi creep rupture testing machine.

Table 1. Chemical composition of specimens.

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Other element	Remark.
S1	0.10	0.36	0.48	0.022	0.008	2.18	1.04	—	2 1/4 Cr-1Mo steel (Forge)
S2	0.15	0.45	0.50	0.012	0.017	2.47	1.10	—	2 1/4 Cr-1Mo steel (Cast)
S3	0.20	0.44	0.54	0.017	0.016	11.79	—	Ti 0.35	12%Cr heat resisting steel
S4	0.18	0.47	0.52	0.012	0.016	11.55	—	Nb 0.42	12%Cr heat resisting steel

Table 2. Rupture life and ductility of 2 1/4 Cr-1Mo steel at 600°C, under stress of 12 kg/mm<sup>2</sup> and 15 kg/mm<sup>2</sup>.

Test temperature (°C)	Stress (kg/mm <sup>2</sup> )	Rupture time (hr)	Rupture elongation (%)	String position of specimens
600	12	638	21.7	1
600	12	641	18.0	1
600	12	610	18.0	2
600	12	614	23.7	2
600	12	586	25.7	3
600	12	715	22.0	3
600	12	586	18.7	4
600	12	599	19.3	4
600	15	301	14.7	1
600	15	311	17.3	1

これらの試料にたいし次のような熱処理を行ない各種のクリープ破断試験を行なった。

- S1, S2..... { 焼鈍.....920°C×2 hr→炉冷 (40°C/hr).  
                  { 焼準焼戻.....950°C×1 hr→空冷  
                  { 700°C×1 hr→空冷
- S3, S4..... { 1150°C×1/2 hr→油冷  
                  { 700°C×1 hr→空冷

S1, S2 にたいしては焼鈍および焼準焼戻の 2 種類の熱処理を行ないクリープ破断強度におよぼす熱処理の影響を調べた。

(2) バネ式マルチクリープ破断試験機の再現性

マルチクリープ破断試験機は温度分布が悪く、かつ破断時の衝撃があるためシングル型式のものよりもクリープ破断強度のバラツキが大きいと考えられている。したがって試料 S1 の焼準焼戻材を使用して 600°C, 12 kg/mm<sup>2</sup> の一定条件でクリープ破断試験を同時に 8 本行なった。その結果を Table 2 に示す。

また 600°C, 15 kg/mm<sup>2</sup> の条件で 2 本のクリープ破断試験を行なった結果も Table 2 に示す。

これらから 600°C, 12 kg/mm<sup>2</sup> で行なったときの破断時間は 586 ~ 715 hr (8 本の平均値 624 hr), 破断伸びは 18.0 ~ 25.7% (8 本の平均値 20.9%) である。また 600°C, 15 kg/mm<sup>2</sup> のときも同様に破断時間, 破断伸びのバラツキは非常に小さい。したがって著者が試作したバネ式のマルチ・クリープ破断試験機でも非常にバラツキ

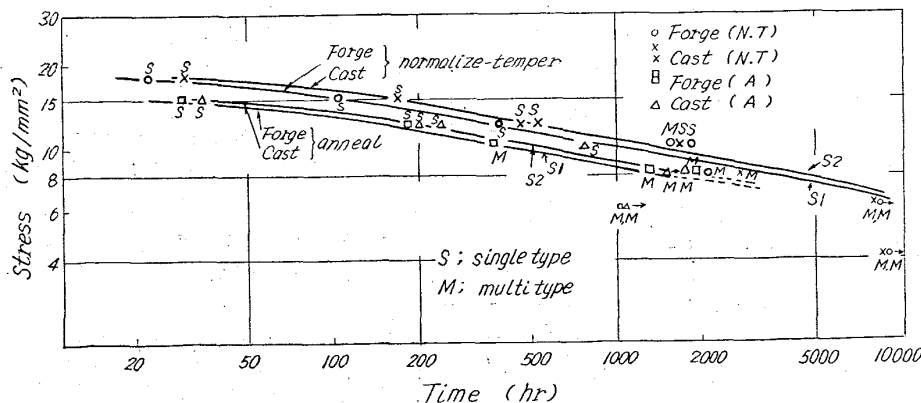


Fig. 2. Stress-time curves of S1 and S2 at 600°C.

が小さくシングル型式のものと同程度であることがうかがえる。英国の Swinden 型式のマルチ・クリープ破断試験機を使用して Swinden Laboratory で同じく  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼について実験を行なった結果でも 400~800 hr 程度の破断時間のバラツキが認められ、かえつてバネ式のものの方がすぐれていることがわかる。

(3) シングル式およびバネ式マルチ・クリープ破断試験機より求めたクリープ破断強度の比較

(i)  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼のクリープ破断強度

$2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼の鍛造材および鋳造材の短時間 (20~2000hr) クリープ破断強度をシングル型式のクリープ破断試験機で求め長時間 (3,000~10,000 hr) のクリープ破断強度をマルチ・クリープ破断試験機で求めた結果を Fig. 2 に示す。

これらからマルチ型式で求めた長時間のクリープ破断強度がシングル型式で求めた時間-応力曲線上またはその延長上にあることがわかる。したがって短時間側の強度をシングル型式で求め、長時間側をマルチ型式で求める方法は何ら問題がないことがわかる。

また 600°C, 3,000 hr 程度なら焼準焼戻材の方が焼鈍材よりすぐれていることがわかる。鋳造材の破断伸びは鍛造材より小さいが、クリープ破断強度は鍛造材よりややすぐれている。

(ii) 12%Cr 耐熱鋼のクリープ破断強度

12%Cr 耐熱鋼すなわち S3, S4 のクリープ破断強度をシングルおよびマルチ・クリープ破断試験機で求めた結果を Fig. 3 および Fig. 4 に示す。

これらからマルチ型式の試験機で長時間側のクリープ破断強度を求めてもシングル型式から得られた実験結果と比較的によく一致することがわかる。また 12%Cr 鋼に Nb を添加すると 550°C 付近ではかなりクリープ破断強度は良くなるが、600°C~650°C になるとその低下がいちじるしい。しかし Ti を添加したものは比較的安定した強度を示している。したがって Ti 添加の 12% Cr 耐熱鋼は短時間のクリープ破断試験の結果から、かなり長時間の結果が推定できるが、Nb を添加したものは短時間の結果から長時間の結果を推定することは非常に困難である。

#### IV. 結 言

バネ式マルチ・クリープ破断試験機を試作して数種の実験を行なったがその結果を要約すると次のごとくである。

(1) バネ式マルチ・クリープ破断試験機は非常にすぐれているが、その概要は次のごとくである。

(i) Swinden 型式の試験機に比較して場所が約 20~30% 節約できる。

(ii) 模型の電気炉であるため温度分布がよく、かつ

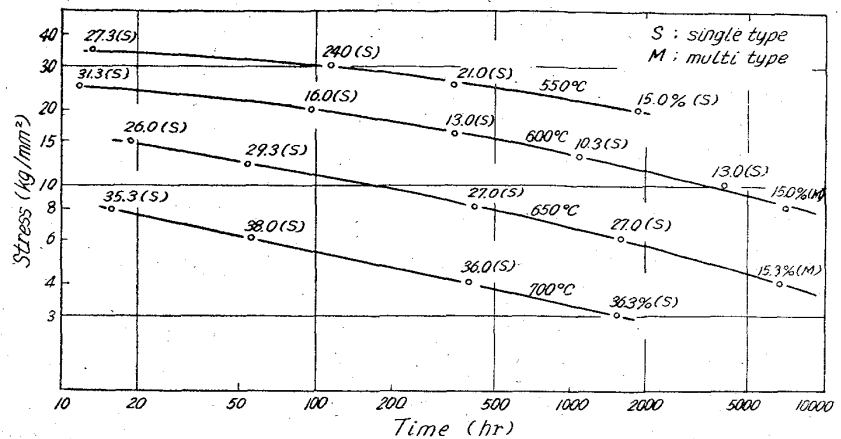


Fig. 3. Stress-time curves of S3.

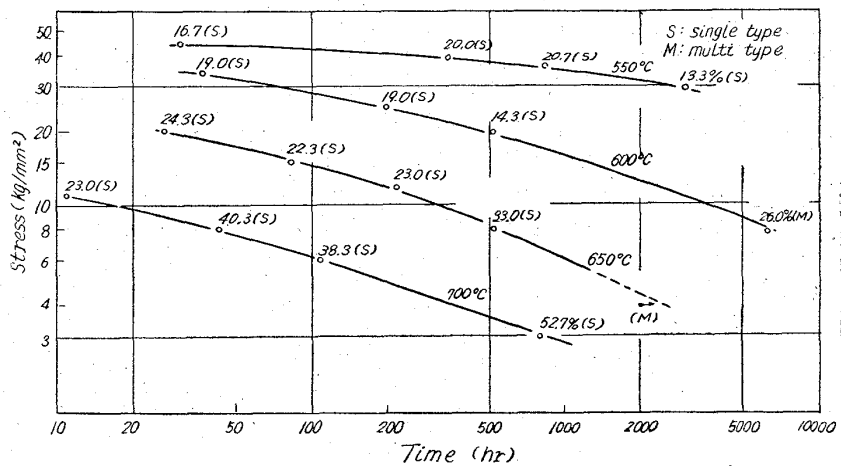


Fig. 4. Stress-time curves of S4.

試験片を交換しても温度分布が悪くならない。また温度分布が良いため多数の試験片をいれることができる。

(iii) 本試験機の価格は輸入した Swinden 型式のものに比較して 1/5~1/6 程度になり長時間クリープ破断試験を行なうのに非常に有利である。

(2) バネ式マルチ・クリープ破断試験機の再現性を調べるため  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼を使用して 600°C, 12 kg/mm<sup>2</sup> の一定条件で同時に 8 本のクリープ破断試験を行なったがそのバラツキは非常に小さくシングル型式のものと同程度である。また英国の Swinden 型式のものよりすぐれていることがわかった。

(3)  $2\frac{1}{4}\text{Cr}-1\text{Mo}$  鋼を使用して短時間のクリープ破断強度をシングル型式の試験機で求め、長時間のクリープ破断強度をマルチ型式のもので求めたが、両者から得られた応力-時間曲線は非常によくかきなり、一つの曲線になる。

(4) 12%Cr 耐熱鋼の長時間クリープ破断強度をマルチ型式の試験機で求めたが、これらはシングル型式で求めた応力-時間曲線の延長上にあり、マルチ型式のものを採用しても何ら問題はないことがわかる。

以上の実験結果から長時間のクリープ破断強度を求めするために経済性のすぐれたバネ式マルチ・クリープ破断試験機をできるだけ多く採用すべきであると考えられる。