

669,14-462:620,172,251,2
(155) 管状試験片のクリープ破断特性に
関する研究

63345

八幡鋼管研究部

工博 篠田 暉・工博○倉貫 好雄
玉田 公・橋川 繁樹

Study on the Creep Rupture Properties of Tubular Specimen.

Dr. Noboru SHINODA, Dr. Yoshio KURANUKI, Isao TAMADA and Shigeki KITSUKAWA.

I. 緒言

ボイラ用鋼管の設計には、従来丸棒試験片の引張応力、クリープおよび破断試験の結果が適用されている。しかし、鋼管の使用中の応力状態は複雑な 3 軸状態であつて、そのクリープ理論は比較的早くから展開されて来たが理論を裏付けする実験結果が不足しており、管状試験片による内圧クリープおよび破断に関する実験が強く要望されている現状である。

われわれは比較的簡単な内圧クリープ破断試験機を製作し、研究の第 1 段階として薄肉鋼管につき 1, 2 の実験を行なつたのでその結果につき報告する。

II. 試験装置の概要

試験装置は試験機本体と制御機構からなる。実験可能な温度範囲は 300~800°C、圧力範囲は 0~1000 kg/cm² である。試験機本体を Fig. 1 に示す。内圧はネジ式加圧器⑦で水（水蒸気）を試料①に圧入して加えた。圧力調節はブルドン管⑩に設けた接点の開閉により自動的に水槽温度、従つてリザーバー⑤内の水の膨張を調節して行ない。変動を試験圧力の ±1%におさえた。温度調節は加熱炉を 3 分割し、上下の電流を加減して試験片長手方向の温度分布を均一にし、電子管式温度調節器により on-off 方式で時間的変動を ±6°C 程度におさえた。破

Specimens	Temperature (°C)		
	1000	1100	1150
RT-10			
20			
30			
40			

Photo. 2 Results of impact-bending test of Timken 16-25-6 type specimens.

靱性の低下が極めて少ない。Nimonic 系および Fe-Cr-Al 系では、1000°C において大差はないが、1150°C、1250°C における試験の結果に RE 処理の改良効果が認められた。

RE 処理による高温靱性の向上は、清浄作用とともに、とくに S の如き脆性をもたらし微量不純物を安定化するためと考えられる。

(4) 時効硬化試験

Timken 系（炭化物析出型）、Nimonic 系（γ' 相析出型）について、700, 800 および 900°C における時効硬化特性におよぼす RE 処理の影響を調べた。その結果、時効時間にはとくに大きな変化は認められないが、時効温度が高くなると RE 添加量とともに硬さは減少する傾向が見られた。

(5) 耐酸化試験

700°C より 100°C ごとに 1200°C まで各温度において、空気雰囲気中での酸化試験を行なつた結果、温度が高くなると RE 処理材は短時間で酸化するが、できた酸化膜は強固で剝離しにくく耐酸化性が秀れていることを知つた。

(6) その他の試験

その他、高温振り試験、(1000°C) およびクリープ試験 (Fe-Cr-Al 系を除く) などを行なつたが、何れの場合も RE 処理により若干の改良効果が認められた。

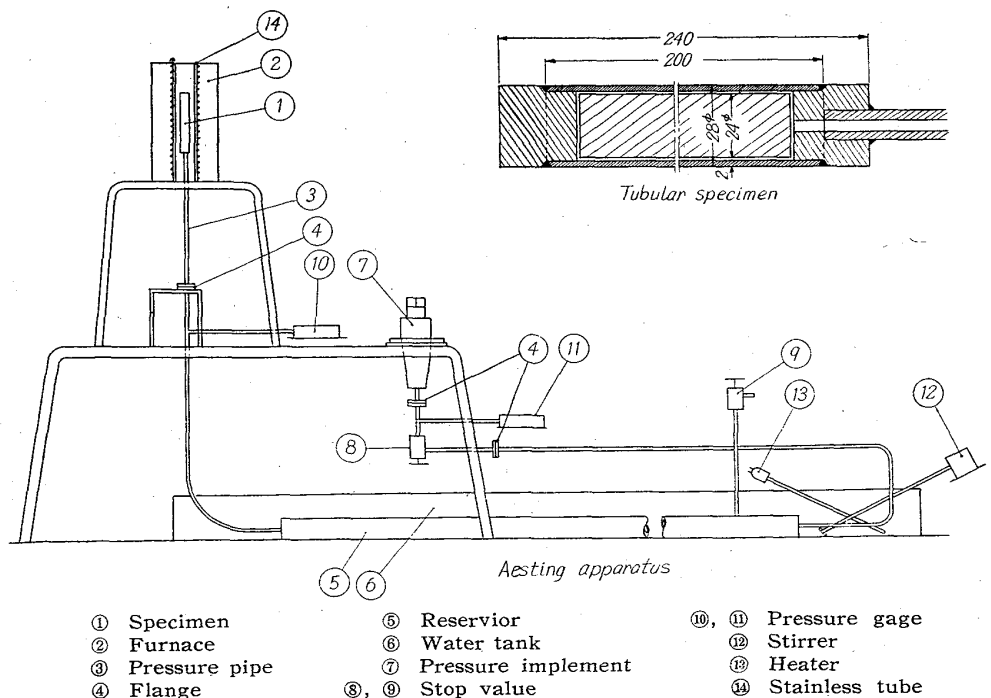


Fig. 1. Schematic diagram of testing apparatus and tubular Specimen.

断時間はブルドン管⑩にとりつけた接点により破断と同時にタイマーを働かせて測定した。同時に炉、投込みヒーター、攪拌機などの回路が開くように制御機構を製作してある。

Fig. 1 には試験片の形状寸法も示した。外径約 30 mm, 長さ 200mm を標準とし, 試験片内容積は鋼製中子により可能な限り小さくして破断時の爆発力を小さくしてある。

III. 試験材と試験方法

(2) 試験材

試験材はマンネスマン法による低炭素キルド鋼の継目無鋼管で, その化学成分を Table 1 に示す。

試験片は 900°C×30 mm 空冷の焼ならし後, 機械加工により外径 28mm, 肉厚 2mm に仕上げ, 上下をキャップに溶接した。

試験片は圧力負荷に先立ち約 20h 試験温度に保持した。

(2) 試験方法

(A) 内圧静クリーブ破断試験 450, 480, 500°C における破断強度を求める目的で一定内圧で破断までの時間を測定した。純内圧下の薄肉鋼管の場合, 接線方向応力 σ_t は $\sigma_t = P \cdot D / 2t$ で軸方向応力 σ_z は $\sigma_z = \sigma_t / 2$ である。(P=内圧 kg/mm², D=外径mm, t=肉厚mm) 結果は σ_t と時間の関係として整理した。

(B) 内圧変動クリーブ破断試験 鋼管の実用条件では温度, 応力が絶えず変動している。従つて引張クリーブ試験においても最近動クリーブが問題にされているが, 内圧クリーブの場合でも当然考えられるべきものである。この問題解決の第一段階として応力を途中で一回変動させた場合の破断寿命について Cumulative Life Fraction¹⁾の考えを基礎として 500°C

Cにおける次の実験を行なった。

(a) $\sigma_t = 10.5 \text{ kg/mm}^2$ を 100, 200, 300 時間負荷後 13 kg/mm² に増加

(b) $\sigma_t = 13 \text{ kg/mm}^2$ を 20, 40, 60 時間負荷後 10.5 kg/mm² に低下

Cumulative Life Fraction f_c は $f_c = (x/90) + (y/570)$ で与えられる。ここで x は 13 kg/mm², y は 10.5 kg/mm² での負荷時間であり, 90, 570 はそれぞれ 500°C の 13, 10.5 kg/mm² での破断寿命である。

IV. 実験結果と考察

内圧静クリーブ破断試験の結果を Fig. 2 に示す。500°C の応力 σ_t (kg/mm²) と破

Table 1. Chemical composition of tube tested. (%)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.13	0.25	0.50	0.013	0.021	0.14

断時間 t (h) の関係は $t = 6.43 \times 10^{11} \cdot \sigma_t^{-8.87}$ となる。この結果と引張クリーブ試験結果 (ASTM の値²⁾) と比較すると, 例えば 500°C では破断強度は短時間側では本結果のほうが劣り, 約 10⁴h の付近で一致する。破断時の接線方向伸びは応力の減少 (破断時間の増加) とともに小さくなっている。軸方向伸びはほぼ 0 である。

内圧変動クリーブ破断試験の結果を Table 2 に示す。第 1 段応力での Life Fraction f_1 と f_c との関係は Fig. 3 に示すように試験数も少くバラツキもあるが一応の傾向としては応力増加では f_c は 1 より小さく, 応力低下では 1 より大となる。これは引張応力変動クリーブ試験の結果を 歪-歪速度の関係で整理すると変動後の歪速度は変動時の歪と変動後の応力に対応した値にならず, 応力増加時は著しく大で, 低下時は小となる現象³⁾ と対応している。

Fig. 4 に ϵ_t と第 1 段応力の負荷時間の関係を示す。応力増加の場合, 負荷時間の増加は全クリーブ破断時間の増加を意味し, 従つて伸びは減少するが, 応力低下は逆に全クリーブ破断時間の減少を意味して伸びは増加している。

V. 結 言

簡単な構造で, しかも十分に使用可能な内圧クリーブ破断試験機の試作を行ない, 薄肉低炭素キルド継目無鋼

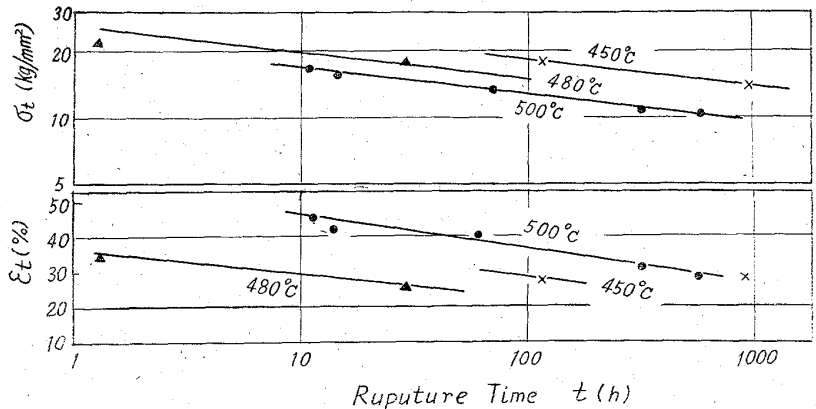


Fig. 2. Relation between tangential stress and rupture time, and effect of rupture time on rupture elongation.

Table 2. Experimental results under stepwise change of stress. (500°C)

1st Stress (kg/mm ²) × time (h)	2nd Stress (kg/mm ²) × time (h)	Rup. elong. et (%)
10.5 × 100	13 × 60.8	45.8
10.5 × 200	13 × 54	36.4
10.5 × 300	13 × 45.8	28.4
13 × 20	10.5 × 610	28.6
13 × 40	10.5 × 278.6	42.1
13 × 60	10.5 × 283.4	41.5

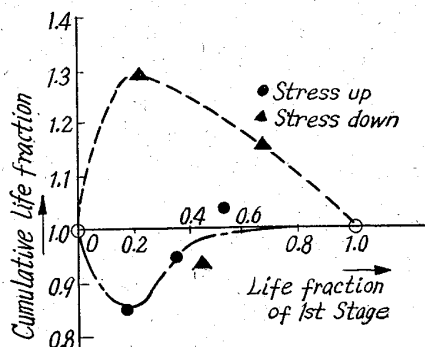


Fig. 3. Relation between cumulative and 1st stage life fraction.

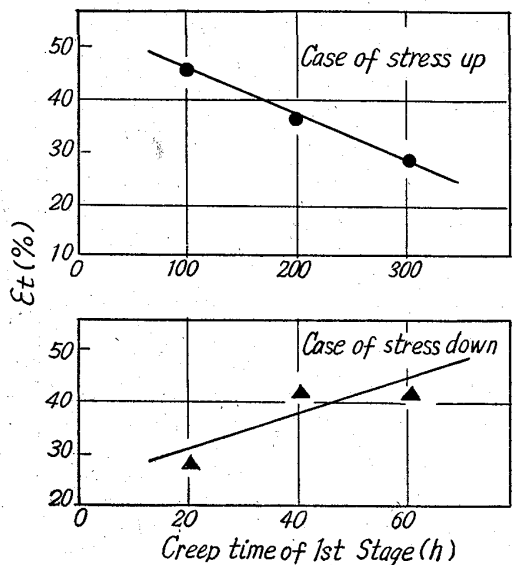


Fig. 4. Effect of 1st stage creep time on rupture elongation.

管の内圧静応力条件と段階的変動応力条件下でのクリープ破断寿命を求めた。その結果、

- (1) 静応力条件下では接線方向応力と破断時間の関係は両対数グラフ上で良く直線性を示す。
- (2) 同じく破断時の接線方向伸びは破断時間の増加と共に減少の傾向を持つ。
- (3) 軸方向伸びは $\sigma_1/\sigma_2=2$ の場合ほぼ 0 である。
- (4) 段階的応力変動の影響としては、応力低下は応力増加よりも累積寿命が長くなる傾向がある。
- (5) 応力変動時の円周方向破断伸びも静応力条件下と同じ全クリープ時間の増加とともに減少する。

文 献

- 1) E. L. ROBINSON: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met & Pet. Eng., 74 (1952), p. 777

- (2) A. S. T. M.: Rep. on the strength of wrought steels at Elevated Temp. (1950), p. 9
- (3) 西原, 平, 田中, 大路: 機械学会論文集, 22 (1956), p. 832

669.14.018.44 : 669.15'26'28'
 292-194 : 620.172.2 : 620.178.746.22
 (156) タービン軸用 5%Cr-1%Mo-0.5%
 %V 鋼におよぼす C の影響 7.84

日本特殊鋼 63346
 工博 沢 繁樹・野村 宏・中島治男

Effect of Carbon on 5%Cr-1%Mo-0.5%
 V Steels for Turbine Shafts. 1557~1559

Dr. Shigeki SAWA, Hiroshi NOMURA
 and Haruo NAKAJIMA

I. 緒 言

蒸気タービン用あるいは過給機用軸車は、その効率を高めるため、使用温度が次第に高められると共に、長時間の使用において、高い応力に耐えられることが要求されている。著者らは焼入性が良くて焼戻温度が高く、比較的靱性も高い 5%Cr-1%Mo-0.5%V 鋼について、軸車材としての各種性質を調べると共に、この鋼におよぼす C 量の影響を比較検討した。

II. 試 料

試料は 35 KVA 高周波電気炉にて 8 kg 鋼塊を溶製し、 $\phi 20$, $\phi 15$ および $\phi 15\text{mm}$ に鍛伸して、それぞれ引張、クリープ破断および衝撃試験に供した。試料の組成を Table 1 に示す。Si 1.0, Cr 4.75~5.0, Mo 0.98, V 0.46% 一定とし、C 量を 0.15~0.38% に変化している。なお V/C は 1.20~3.07 の範囲にある。

鍛伸後の試料は、いずれも 850°C に 1h 保熱後 20°C/h の速度で 530°C まで徐冷焼鈍した。

III. 実験結果

(1) 熱処理硬さ

950~1100°C に 30 mn 保熱後空冷した場合の、焼入硬さおよび 1050°C 空冷後、450~700°C で焼戻した場合の、硬さの変化を Fig. 1 に示す。

焼入硬さの最も高い温度は 1000~1050°C であるが、その値は C 量によつて、いちぢるしく影響され、C 量の低いものは焼入硬さも低い。しかしこれを焼戻すと、C 量の低いもの程 500~600°C の高い焼戻温度で析出硬化し、650°C 以上の焼戻では、硬さの変化は余り認められなくなる。C 含有量の低いものに認められるこの析出硬化は、Mo あるいは V が原因しているものであろう。

これらの結果により、以下に述べる各種性能試験は、軸車の機械加工性を考慮して、 $H_B 302\sim 311$ になるような下記熱処理のものについて行なつた。

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	V/C
CL	0.15	1.02	0.31	0.010	0.014	4.98	0.98	0.46	3.07
CM	0.28	1.02	0.31	0.009	0.015	4.84	0.98	0.47	1.68
CH	0.38	1.02	0.36	0.009	0.015	4.75	0.97	0.46	1.20