

(2) 焼入焼戻しの際約 400°C にて現われる二次硬化の量は、準安定オーステナイト域における加工率と関係し、加工率が増加すると二次硬化量を増すが、ある程度以上の加工率により、かえって明瞭に現われなくなる。

(3) 鋼の強度向上の主な原因は、オーステナイトの冷間加工による加工硬化および変態前の加工によるマルテンサイト組織の微細化にあると思われる。

文 献

- 1) R. F. Harvey, Iron Age. 168 (1951) Dec. 27 p. 70.
- 2) E. M. Lips, H. Van Zuilen, Metal Progr. 66 (1954) No. 2 p. 103.
- 3) D. J. Schmatz, V. F. Zackay, Trans. ASM, 51 (1959) 476.
- 4) E. B. Kula, J. M. Dhosi, Trans. ASM. 52 (1958) preprint No. 129.
- 5) M. Cohen, Metals Review, 32 (1959) No. 5 p. 5.
- 6) R. H. Harrington, Age Hardening of Metals, (ASM's Book) (1952) p. 314.

(82) クリープ・ラプチャー試験に関する一考察

金属材料技術研究所

中川 竜一・〇乙黒 靖男

A Consideration on Creep Rupture Test.

Ryuichi Nakagawa and Yasuo Ootoguro.

I. 緒 論

近年高温材料の用途の増加に伴い、設計基準となる重要な高温性質としてのクリープ強さ、あるいはクリープ破断強さの試験方法も発達改良され、各国において規格に規定されているが、これらの性質は非常にばらつきの多いもので設計の際この点をかなり考慮する必要があると思われる。本実験では 18-8 ステンレス鋼を用い、クリープ破断強さのばらつき、あわせてクリープ破断強さにおよぼす温度の影響、試験片寸法の相違による影響などを調べたので報告する。

II. 試料および試験片

試料は Table 1 に示した化学組成を有する 20mm ϕ の 18-8 ステンレス鋼を用い、ばらつきおよび寸法効果の試験では 1100°C $\times$ 1 h, 焼入温度の影響に関する試験では 1000, 1050, 1150, 1200°C の各温度で各々 1 h の焼入処理を行なった。試験片は一般に 6mm ϕ , 平行長

30mmとし、寸法効果を調べるために、8mm ϕ $\times$ 40mm, 10mm ϕ $\times$ 50mm の 2 種類の試験片を使用した。試験片平行部と肩の間の曲率はいずれも 3mm とした。

Table 1. Chemical composition.

C	Cr	Ni	Si	Mn	P	S	Fe
0.06	18.82	8.72	0.45	0.97	0.035	0.011	Bal.

III. 試験機および試験方法

実験機は最大荷重 1.5 ton, 最高温度 800°C, 横カン比 1:10 の同一ラプチャー試験機 15 台を使用した。荷重精度は規格により $\pm 1.5\%$ 以内と規定されているが、実験に使用した試験機の荷重誤差は 250, 500, 1000, 1500 kg の 4 種類の検定荷重で 0.742% 以内におさまっており、なおレバーの位置による差は最も差の大きい試験機の例を示すと、250 kg の荷重で試験機 No. 14 の上中下のレバー位置に対し、荷重誤差は各々 +0.614, -0.061, -0.213 でレバー位置による誤差も充分規格内に入っている。伸び測定は試験機支柱と引張りロッドの間で行なった。試験は 650°C で、10, 13 kg/mm² の応力で行なった。試験温度への加熱は約 5 時間でその後の均熱を約 20 時間行なった。温度は試験片上下に Pt-PtRh 熱電対を取り付け、ポテンシオメーターで 1 日 1 回測定した。

IV. 実験結果

a) 焼入温度のクリープ・ラプチャー時間におよぼす影響

最初に 150 $\times$ 250 $\times$ 500mm のエレマ炉で 1100°C $\times$ 1 h の焼入処理を行なった試験片のクリープ・ラプチャー時間は 650°C, 10 kg/mm² で最高 2210 h 57 mn, 最低, 1068 h 20 mn, 13 kg/mm² ではおのおの 337 h, 194 h で非常にばらつきが大きい。従つてこれはエレマ炉の温度分布が悪いため、焼入処理温度の相違によるものではないかと考え、温度分布の良い直径 80mm の管状シリコニット炉で 1200, 1150, 1100, 1050, 1000°C の各温度で 1 h 保持後水冷した試験片について実験を行なった。Fig. 1 に 650°C, 13 kg/mm², 10 kg/mm² の焼入温度とクリープ・ラプチャー時間と伸びの関係を示す。クリープ・ラプチャー時間、伸びともに焼入温度の低い方が高く、1100°C までは温度の上昇につれて低下し、それ以上温度を上げてほとんど変化がない。焼入温度 1000°C では 1100°C の場合より破断時間は約 2 倍になり、焼入温度の影響はかなり著顕である。なお焼入温度による顕微鏡組織の相違を調べるため前述の焼入処理のまま、および 170 h, 1200 h 時効後の組織を観察した結果、結

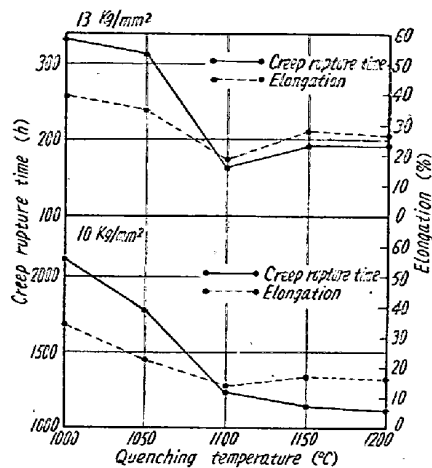


Fig. 1. Effect of quenching temperature on creep rupture time and elongation of 18-8 stainless steel at 650°C.

晶粒は焼入温度とともに増大している。したがって試験温度も比較的低い 650°C であるので、細粒の方がクリープ強度が大きいことと、焼入温度 1100°C の場合、時効による Cr_{23}C_6 析出が最も多いことから Cr_{23}C_6 の粒界析出が悪影響を与えるのではないと思われる。

b) クリープ試験のばらつき

前述の結果からクリープ試験そのもののバラツキを見るためには、焼入温度の分布を均一にすることが必要であることが分つたので焼入処理は同様に管状シリコニット炉で行なつた。試験結果を Table 2 に示す。

各試験における信頼度 95%, 99% の温度の信頼限界を求めた結果、全試験において応力 10 kg/mm² すなわち長時間試験においては、前者は 650.7~649.2°C、後者

Table 2. Results of creep rupture tests. (10 kg/mm²)

Testing machine	1	2	3	4	5	6	7	8
Rupture time (h)	1134.87	1262.85	1130.03	1183.31	1275.28	1270.36	1316.11	1244.48
Elongation (%)	14.2	9.0	12.3	11.9	17.3	12.5	18.8	14.0
Creep rate (%/h)	675×10^{-5}	373×10^{-5}	688×10^{-5}	612×10^{-5}	731×10^{-5}	573×10^{-5}	903×10^{-5}	575×10^{-5}
Mean temperature	650.2	650.1	650.2	650.2	650.2	650.1	650.2	650.2
U ² (temp.)	1.44	1.03	2.06	1.08	0.77	0.68	1.32	1.08
Testing machine	9	10	11	12	13	14	15	
Rupture time (h)	1295.31	1064.78	1345.83	1274.17	1238.91	1356.08	1237.27	
Elongation (%)	21.9	14.9	11.6	16.9	14.9	16.4	13.9	
Creep rate (%/h)	988×10^{-5}	627×10^{-5}	409×10^{-5}	825×10^{-5}	662×10^{-5}	664×10^{-5}	529×10^{-5}	
Mean temperature	650.0	650.0	650.2	650.1	650.1	650.1	650.0	
U ² (temp.)	1.18	1.79	1.20	1.47	1.46	1.62	1.99	

(13 kg/mm²)

Testing machine	1	2	3	4	5	6	7	8
Rupture time (h)	149.65	200.60	194.88	200.15	155.45	143.75 (142.11)	154.77	179.61
Elongation (%)	16.9	20.1	19.4	18.5	16.5	19.7 (16.3)	18.0	20.0
Creep rate (%/h)	653×10^{-4}	531×10^{-4}	597×10^{-4}	585×10^{-4}	593×10^{-4}	716×10^{-4} 621×10^{-4}	547×10^{-4}	645×10^{-4}
Mean temperature	650.3	650.0	650.2	650.6	650.5	650.3 651.5	650.6	651.1
U ² (temp.)	2.14	1.47	2.07	0.58	0.57	0.25 (0.43)	3.35	1.27
Testing machine	9	10	11	12	13	14	15	
Rupture time (h)	156.61	128.95	143.11 (200.51)	170.03	145.00	173.68	144.81	
Elongation (%)	23.0	16.0	18.2 (20.3)	17.9	18.5	18.8	18.7	
Creep rate (%/h)	639×10^{-4}	659×10^{-4}	595×10^{-4} 627×10^{-4}	554×10^{-4}	633×10^{-4}	657×10^{-4}	597×10^{-4}	
Mean temperature	650.7	649.8	650.2 (650.8)	650.7	650.1	650.6	649.3	
U ² (temp.)	0.14	0.06	0.59 2.73	0.88	1.85	0.61	2.05	

は $650.8 \sim 649.0^\circ\text{C}$, 応力 13kg/mm^2 の短時間試験においては, 前者は $652.4 \sim 647.8^\circ\text{C}$, 後者は $653.1 \sim 647.0^\circ\text{C}$ の範囲に入っており, 短時間試験では温度のばらつきはやや大きい規格より遙かにすぐれている。したがって試験温度の平均値, 温度のばらつきによる影響をここでは考慮に入れない。 650°C , 13kg/mm^2 , 10kg/mm^2 でのクリープ・ラプチャー時間, 伸び, クリープ速度の度数分布はほぼ正規分布である。クリープ・ラプチャー時間, 伸び, クリープ速度の信頼限界を求めた結果, 99% の信頼度で 10kg/mm^2 の場合にはおのおの $1241\text{h } 59\text{mn} \pm 61\text{h } 40\text{mn}$, $14.7 \pm 2.5\%$, $0.00656 \pm 0.00127\%/h$, 13kg/mm^2 の場合にはおのおの $163\text{h } 45\text{mn} \pm 16\text{h } 47\text{mn}$, $18.6 \pm 1.2\%$, $0.0615 \pm 0.0032\%/h$ となる。信頼限界の範囲の平均値に対する割合は, クリープ・ラプチャー時間は 10kg/mm^2 で $\pm 5.0\%$, 13kg/mm^2 で $\pm 10.2\%$, 伸びは $\pm 17.0\%$, $\pm 6.7\%$ クリープ速度は $\pm 19.4\%$, $\pm 5.2\%$ である, 破断時間は長時間試験の方がその割合は小さいが, 伸びとクリープ速度は短時間試験の方が小さい。

c) クリープ・ラプチャー時間, 伸び, クリープ速度の相関関係

前述の実験結果から各応力でのクリープ・ラプチャー

時間 (x), 伸び (y), クリープ速度 (z), の間の関係を調べるために, 相関係数 r を求め, またこれら相関係数の有意性の検定を行なうため, $t_0 = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{N-2}$ (N : 標本数) の式よりおのおの t_0 を求め, その値とその自由度に対応する検定値 ($\alpha=5\%$) を Table 3 に示す。表より 10kg/mm^2 での伸びとクリープ速度の間の相関係数のみ 5% の危険率で有意であると言いうる。

c) 寸法効果

鋳塊よりクリープ・ラプチャー試験片を取る場合に試験片寸法が試験結果に影響を与えない限り小さい方が有利であり, また試験機的能力も小さくてすむ。この目的で 6mm , 8mm , $10\text{mm } \phi$ の 3 種類の試験片について 13kg/mm^2 , 10kg/mm^2 の 2 応力で実験を行ないその影響を調べた。Table 4 に各試験片寸法の各応力でのクリープ・ラプチャー時間, 伸び, クリープ速度の平均値と不偏分散および標本数を示す。

$8\text{mm } \phi$, $10\text{mm } \phi$ と $6\text{mm } \phi$ の試験片の各実験値の平均値の比較を行うために分散比を計算すると $10\text{mm } \phi$ の試験片の結果は, 応力 13kg/mm^2 での伸びを除き, $6\text{mm } \phi$ の試験片と較べてクリープ・ラプチャー時間, 伸び, クリープ速度の分散は 5% の危険率で同一と認められない。したがって平均値の差の検定は不可能であ

Table 3. Correlation between creep rupture time, elongation and creep rate.

	10kg/mm^2			13kg/mm^2		
	r	t_0	$t(13, 0.05)$	r	t_0	$t(15, 0.05)$
x, y	0.2165	0.7996	2.16	0.4540	1.7583	2.13
y, z	0.7788	4.4763	2.16	0.0572	0.2226	2.13
x, z	0.0679	0.2452	2.16	-0.2418	0.9652	2.13

Table 4. Size effect of specimens on creep properties (10kg/kg^2)

	$6\text{mm } \phi (N=15)$		$8\text{mm } \phi (N=3)$		$10\text{mm } \phi (N=4)$	
	Mean	U^2	Mean	U^2	Mean	U^2
Creep rupture time (h)	1241.98	6422.0341	1285.98	2332.9899	1400.26	32057.8705
Elongation (%)	14.7	10.37	14.4	14.23	22.0	7.44
Creep rate (%/h)	656×10^{-5}	27168×10^{-10}	715×10^{-5}	23235×10^{-10}	1012×10^{-5}	42793×10^{-10}

13kg/mm^2

	$6\text{mm } \phi (N=17)$		$8\text{mm } \phi (N=3)$		$10\text{mm } \phi (N=5)$	
	Mean	U^2	Mean	U^2	Mean	U^2
Creep rupture time (h)	163.75	563.2468	154.71	332.5177	270.98	4424.3840
Elongation (%)	18.6	3.05	18.6	3.46	34.9	228.30
Creep rate (%/h)	615×10^{-4}	2047×10^{-8}	594×10^{-4}	722×10^{-8}	686×10^{-4}	8060×10^{-8}

る。これは試験片数の少いためと思われる。8mmφ の試験片ではいずれの場合も分散は同一と見做せるので 6mmφ の結果との共通の分散を求め、平均値の差の検定を行なった結果、いずれの場合も両試験片間の差は認められない。

IV. 結 論

i) 焼入温度は低い程、クリープ・ラプチャー強度、伸びともに大きい、1100°C 以上ではほとんど変化がない。

ii) 18-8 ステンレス鋼の 650°C 13 kg/mm², 10 kg/mm² における、クリープ・ラプチャー時間は 99% の信頼度で、信頼限界の範囲の平均値に対する割合は前者で ±5.0%, 後者で ±10.2% である。

iii) クリープ・ラプチャー時間、伸び、クリープ速度間の相関は 10 kg/mm² の伸びとクリープ速度の場合を除き、認められない。

iv) 6mmφ と 8mmφ の試験片については寸法効果は認められない。

(83) 1Cr-1/2 Mo ボイラー用鋼管材に関する研究

神戸製鋼所神戸研究部

平野 坦・山本俊二・○日浦 保
小林 弘・増田辰男

Study on 1 Cr-1/2 Mo Steel for Boiler Steel Tubes.

Hiroshi Hirano, Shunji Yamamoto,
Tamotsu Hiura, Hiroshi Kobayashi
and Tatsuo Masuda.

I. 結 言

高温高压用鋼管材としての 1Cr-1/2 Mo 鋼は、船用または陸用ボイラーの過熱器管および主蒸気管として広く使用されており 2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼管材に比し 550°C 以下の温度では、クリープ強度が悪く 550~600°C の温度範囲では、両者のクリープ強度はほとんど変わらないといわれているが、長時間使用する場合には安定性の点から 2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼の方が秀れていると考えられる。

1Cr-1/2 Mo 鋼は使用目的から考えてクリープ強度の秀れていることはもちろんのこと常温における曲管拡管などの冷間加工性の秀れていることもまた施工上必要である。2¹/₄ Cr-1 Mo 鋼については、前報²⁾において熱処理によりいちじるしくクリープ強度を改善しうることについて述べたが、本報においては 1Cr-1/2 Mo 鋼管材に対し適切なクリープ強度と常温機械的性質を与えるための熱処理方法につき検討した結果について報告する。

II. 供 試 材

供試材として Table 1 記載のごとき成分を有する 2 charge を熔製したが熔解に際してはクリープ強度の向上を目標として Al 使用量を 100 g/t に抑制し粒の粗大化につとめた。表中 CH および DL は、C 量を規格の上限および下限にとりクリープ強度におよぼす C 量の影響をも調査することとした。両 charge とも 80 kg 鋼塊に鑄造後 25mmφ に鍛伸し供試材とした。

III. 熱処理による組織の変化

CH 材を供試材として 920°C でオーステナイト化を行なった後連続冷却式光輝焼鈍炉の性能を考慮に入れて 65°C/h の冷却速度で冷却を行ない 820~660°C の各温度より水冷して組織の変化を調査した。Table 2 に熱

Table 1. Chemical composition of specimens tested.

Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Σ Al
CH 2 (Z1284)	0.12	0.40	0.44	0.012	0.014	1.08	0.53	0.015
DL 2 (Z1282)	0.06	0.36	0.44	0.011	0.018	1.10	0.53	0.020
STB 42D	<0.15	0.10~0.50	0.30~0.60	<0.030	<0.030	0.80~1.20	0.45~0.65	—

Table 2. Structure and hardness changes after heat treatments.

Heat treatments	Structure and micro hardness (Hv)				Macro-hardness
920°C 65°C/h 820°C W	F+B	F=216	B=423~493		323~341
" 780	"	F=210	B=500~566		245
" 760	"	F=185~202	B=509~584		228
" 740	F+B+M	F=183~189	B=594	M=706~929	221~321
" 720	F+M	F=225~232	B=766~929		193~203
" 700	F+M+P	F=210~221	M=795~909	P=257	177~187
" 680	F+P	F=175~181	P=268~286		150~153
" 660	F+P	F=183~195	P=251~293		150~152

F=Ferrite, P=Pearlite, B=Bainite, M=Martensite.