

た表面に近いほどいちじるしいことを知った。

IV. 結 言

20%Cr-Fe 合金の窒素吸収によるオーステナイト化の状態や、そのオーステナイトの熱処理挙動などを素材の C 濃度との関係において検討しつぎの結論を得た。

1. 20%Cr-Fe 合金を N 雰囲気中で 1250°C に 6 時間加熱すると試料表面からある深さまで均一なオーステナイトとなり、内部はフェライトとオーステナイトの混合組織となる。この周辺のオーステナイト層の深さおよび内部オーステナイト相の量は C 濃度の高いほど増加する。

2. これらのオーステナイト相は窒素吸収温度からの炉冷によつて分解するが、そのフェライトからオーステナイトへの加熱変態は 900°C 付近からはじまり 1050°C 付近でおわる。また空冷時にはオーステナイトの二段変態がみられるが、第一段変態は C 濃度の低いもの、したがつて窒素吸収の程度の少ないものほど大であり、また第二段変態は C 濃度の高いもの、したがつて窒素吸収の程度の多いものほど大となる。

3. 焼入によつて残留した窒素吸収層中のオーステナイトは 600°C 30 分間の焼戻によつて粒界より分解しはじめ、650°C では完全に分解する。

4. 焼入された窒素吸収層中の残留オーステナイトのサブゼロ処理にたいする感受性は素材 C 濃度の高いほど、また試料表面に近いほど小さく、焼入後常温放置による残留オーステナイトの安定化は C 濃度の高いほど、また表面に近いほどいちじるしい。

(109) クリープ破断強さにおよぼす熱処理の影響

(12%Cr 耐熱鋼の研究—X)

Effect of Heat Treatments on Creep Rupture Strength

(Studies on 12 percent chromium heat resisting steels—X)

T. Fujita, et alius.

東京大学工学部

故 工博 芥川 武・工藤 利夫

I. 緒 言

B および N を複合添加した 12%Cr 耐熱鋼の 600°~650°C の 100~10000 h のクリープ破断強さについては、すでに第 7~9 報で述べた。これらは一定の熱処理をお

こなつたものについて、クリープ破断強さをもとめたが本報は焼入温度、焼入温度における保持時間、焼戻温度などを変化して、これらが 650°C のクリープ破断強さにどのような影響があるかを調べた。

II. 試 料

試料の化学組成は Table 1 にしめす。これらは高周波電気炉で 25~30 kg 熔解し、24~25 mm の角棒に鍛造した。

Table 1. Chemical compositions of specimens tested.

Steel No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	W	N*	B*
S 1	0.20	0.32	1.16	11.61	0.95	0.20	0.24	—	0.03	0.03
S 2	0.16	0.27	0.31	11.88	0.92	0.22	0.22	—	0.03	0.03
S 3	0.17	0.27	0.31	11.98	0.70	0.17	0.15	0.34	0.03	0.03
S 4	0.16	0.23	0.40	12.06	0.66	0.24	—	0.11	0.03	0.03

\* Additional amount.

S1, S2 は大体同じ成分であるが S2 は S1 より C, Mn が低くなつている。S3 は S2 に W を 0.34% 添加した以外は S2 とほとんどかわらない。S4 は S2 の Nb 0.22% のかわりに W 0.11% を添加したものである。

これらの試料には、12%Cr 耐熱鋼に適当量と考えられる B および N を 0.03% 複合添加している。

III. 実 験 結 果

(1) 焼入温度および合金成分のクリープ破断強さにおよぼす影響。

S1~S4 の各試料につきのような熱処理をおこない、600°~650°C でクリープ破断試験をおこなつた。

熱処理 A ... 1150°C × 1/2 h → 油冷, 700°C × 1h → 空冷  
熱処理 B ... 1250°C × 1/2 h → 油冷, 700°C × 1h → 空冷

この実験結果を Table 2 にしめす。これらの結果からつぎのことがわかる。

Table 2. Rupture strength of specimens.

Steel No.	Heat treatment A (1150°C × 1/2 h → O. Q.) (700°C × 1 h → A. C.)			Heat treatment B (1250°C × 1/2 h → O. Q.) (700°C × 1 h → A. C.)	
	600°C	650°C		650°C	
	1000 h	100 h	1000 h	100 h	1000 h
	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>	kg/mm <sup>2</sup>
S 1	29	26	19	28	21
S 2	30	29	19	32	24
S 3	32	29	18	30	20
S 4	21	18	13	21	15

(i) 600°C, 1000 h のクリープ破断強さのもつとも大きいものは, S3 であるが, 600°C 付近のクリープ破断強さは S3 のように, 合金元素を少量ずつ添加することにより非常に強力になる. Nb を添加しない S4 は 600°C においてもクリープ破断強さは, いちじるしく低下している. したがって Nb は 12%Cr 耐熱鋼にたいし非常に有効な合金元素である.

(ii) 熱処理 A, B をおこなった試料の 650°C, 1000 h の破断強さを比較すると焼入温度の高い方がはるかにすぐれている.

(iii) W を添加した S3 は 600°C のクリープ破断強さは大きい, 650°C ではかなり低くなる. すなわち W 添加は 650°C のクリープ破断強さにはかえって悪影響をおよぼす.

(iv) 12%Cr 耐熱鋼の C を 0.20% から 0.16%, Mn を 1.16% から 0.31% にさげることにより, クリープ破断強さをかなり向上させることができる.

(2) 焼入温度のクリープ破断強さにおよぼす影響.

試料 S1 を 1280°C~1100°C に 1 h 加熱後水冷し, 700°C で 1 h 焼戻をおこない 650°C, 24 kg/mm<sup>2</sup> でクリープ破断試験をおこなった結果を Table 3 にしめす.

Table 3. Effect of quenching temperature on rupture strength of specimen (S 1).

Heat treatment	Rupture time and rupture elongation at 24 kg/mm <sup>2</sup> and 650°C	
	Rupture time (h)	Rupture elong. (%)
1280°C × 1 h → W. Q. 700°C × 1 h → A. C.	447	10.0
1250°C × 1 h → W. Q. 700°C × 1 h → A. C.	508	8.0
1200°C × 1 h → W. Q. 700°C × 1 h → A. C.	555	8.3
1150°C × 1 h → W. Q. 700°C × 1 h → A. C.	284	13.3
1100°C × 1 h → W. Q. 700°C × 1 h → A. C.	71	19.3

この結果から 1200°C~1280°C より焼入したものは, 1100°C から焼入したものよりいちじるしく, クリープ強さを高めている. 1150°C から焼入したものは, 破断時間も比較的長く, かつ破断のびも 13% 程度であるため, 本鋼にたいしては 1150°C の焼入温度を採用することにした. しかも 1250°C~1280°C 付近から焼入をおこなうと, 少量の δ フェライトがでて, 疲労強度をいちじるしく低くするため, あまり高温から焼入することができない.

(3) 焼入保持時間のクリープ破断強さにおよぼす影響.

試料 S1 を 1150°C に  $\frac{1}{2}$  h, 1 h, 2 h 保持して油冷し, 700°C で 1 h 焼戻をおこない 650°C, 24 kg/mm<sup>2</sup> でクリープ破断試験をおこなった結果を Table 4 にしめす.

Table 4. Effect of time at quenching temperature on rupture strength of specimen (S 1).

Heat treatment	Rupture time and rupture elongation at 24 kg/mm <sup>2</sup> and 650°C	
	Rupture time (h)	Rupture elong. (%)
1150°C × $\frac{1}{2}$ h → O. Q. 700°C × 1 h → A. C.	260	12.3
1150°C × 1 h → O. Q. 700°C × 1 h → A. C.	256	12.0
1150°C × 2 h → O. Q. 700°C × 1 h → A. C.	290	10.7

これから焼入温度における保持時間のクリープ破断強さにおよぼす影響はあまり顕著でないことがわかる.

(4) 焼戻温度のクリープ破断強さにおよぼす影響.

試料 S1 を 1150°C に  $\frac{1}{2}$  h 加熱後 650°C × 3 h, 700°C × 1 h, 730°C × 1 h 加熱後空冷し, 650°C, 24 kg/mm<sup>2</sup> のクリープ破断試験をおこなった結果を Table 5 にしめす.

Table 5. Effect of tempering temperature on rupture strength of specimen (S 1).

Heat treatment	Rupture time and rupture elongation at 24 kg/mm <sup>2</sup> and 650°C	
	Rupture time (h)	Rupture elong. (%)
1150°C × $\frac{1}{2}$ h → O. Q. 650°C × 3 h → A. C.	238	13.3
1150°C × $\frac{1}{2}$ h → O. Q. 700°C × 1 h → A. C.	300	12.7
1150°C × $\frac{1}{2}$ h → O. Q. 730°C × 1 h → A. C.	150	—

これらから 700°C までの焼戻温度では, クリープ破断強さはあまり低下しないが, 700°C 以上ではいちじるしくクリープ破断強さを低下させることがわかる.

(5) 焼入時の冷却速度の影響

試料 S1 を 1150°C に 1 h 加熱して, 水冷, 油冷, 空冷の各熱処理をおこない, 700°C で 1 h 焼戻をおこなった試料について, 650°C, 24 kg/mm<sup>2</sup> のクリープ破断試験をおこなった (Table 省略). この結果から冷却速度はあまりクリープ破断強さに影響をおよぼさないことがわかる. したがって焼割れのもつとも少ない空冷が適当であると考えられる.

IV. 結 言

以上の実験結果を要約するとつぎのごとくなる。

(1) B および N を複合添加した 12%Cr 耐熱鋼の 600°C, 650°C のクリープ破断強さおよび熱処理のクリープ破断強さにおよぼす影響について調べた。

(2) W を添加した 12%Cr 耐熱鋼は 600°C のクリープ破断強さはよくなるが、650°C のクリープ破断強さはかえって低下する。

(3) 12%Cr 耐熱鋼には、0.2% 程度の Nb 添加が非常に有効である。

(4) 12%Cr 耐熱鋼の焼入温度は 1150°~1200°C が適当であり、焼入保持時間は  $\frac{1}{2}$ ~1 h で十分である。

(5) 12%Cr 耐熱鋼の焼戻処理は 680°~700°C×1h →空冷がもつとも適当である。また焼入時の冷却速度はあまりクリープ強さに影響がないので焼割れのもつとも少ない空冷が適当である。

(110) 長時間のクリープ破断特性と焼戻硬度について

(12%Cr 耐熱鋼の研究—Ⅱ)

Long Period Creep Rupture Properties and Tempering Hardness

(Studies on 12 percent chromium heat resisting steels—Ⅱ)

T. Fujita, et alius.

東京大学工学部

故 工博 芥川 武・工〇藤田 利夫

I. 緒 言

12%Cr 耐熱鋼の数千時間程度のクリープ試験については第9報でのべたが、本報ではさらに長時間のクリープ破断試験の結果についてのべる。

一方BおよびNを単独および複合添加した 12%Cr 耐熱鋼の 650°C, 10000 h の焼戻処理をおこない、これらの焼戻硬度、顕微鏡組織などの変化を調べた。

II. 試 料

長時間のクリープ破断試験をおこなった試料の化学組成を Table 1 にしめす。S10~S12 は高周波電気炉で 4~5 kg 熔解し、24~25 mm の丸棒に鍛造した。S13, S14 は高周波電気炉で 30~50 kg 熔解し 25 mm の角棒に鍛造した。

焼戻処理に使用した S21~23, S31~33 は高周波電気炉で 4~5 kg 熔解し、10 mm の角棒に鍛造した。

III. 実験結果

(1) 長時間のクリープ破断試験におよぼす合金元素の影響。

第9報でのべた長時間クリープ試験は、現在も引きつづいておこなっている。試料の熱処理は 1150°C× $\frac{1}{2}$ h →油冷, 700°C×1h →空冷であり、試験条件は 650°C, 12 kg/mm<sup>2</sup> である。この結果を Fig. 1 にしめす。

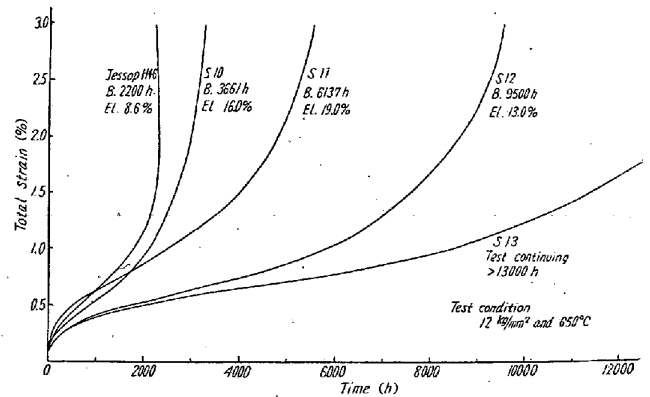


Fig. 1. Comparative creep curves of 12% chromium heat-resisting steels.

この図にBおよびNを添加しない 12% 耐熱鋼すなわち Jessop H46, S10 のクリープ曲線を付記した。

これからつぎのことがわかる。

(i) B 0.03% および Ti 0.12% を添加した S11 は最初の 1000 h 程度は S10 よりクリープ歪は大きいですが、破断時間は 6137 h で S10 の約 1.7 倍の破断時間になる。

(ii) B 0.05% および N 0.05% を添加した S12 の破断時間は 9500 h で S10 の約 2.6 倍の破断時間にな

Table 1. Chemical compositions of specimens tested.

Steel No.	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Nb	B*	N*	Other element
S 10	0.20	0.4	0.5	11.50	0.87	0.13	0.21	—	—	—
S 11	0.15	0.4	0.5	11.10	0.99	0.13	0.22	0.03	—	Ti 0.12
S 12	0.16	0.4	0.5	11.10	0.90	0.12	0.20	0.05	0.05	—
S 13	0.21	0.5	0.8	11.16	1.29	0.17	0.29	0.03	0.03	—
S 14	0.21	0.32	1.16	11.61	0.95	0.20	0.24	0.03	0.03	—

\* Additional amount.