

(166) 含ボロン・18Cr-12Ni オーステナイト系耐熱鋼のクリープ・ラプチャー強さにおよぼす Ti, Nb, W 量の影響

(オーステナイト耐熱鋼の研究—III)

金属材料技術研究所

○河部 義邦・工博 中川 龍一

沼田 英夫・上原 功

The Effect of Ti, Nb and W Contents on Creep Rupture Strength of 18Cr-12Ni Austenitic Heat Resisting Steels Containing 0.2% B.

(Study on austenitic heat resisting steel—II)

Yoshikuni KAWABE, Dr. Ryuichi NAKAGAWA,

Hideo NUMATA and Isao UEHARA.

1. 緒 言

著者らは前報¹⁾でボロンを含む耐熱鋼では Mo を添加し地を強化し、さらに Mo と B の相乗効果を引き出し、また炭化物形成元素としては Ti を添加すれば高温強度を改善できることを明らかにした。本報告ではその結果をさらに発展させ、適当な Ti 添加量および Ti と共存する際の Nb の効果について検討した。また W は Mo と同様な効果を期待できるので Mo の一部または全部を W で置き換えた効果についても検討したのでその結果を報告する。

2. 試 料

本実験に用いた試料の化学成分を Table 1 に示す。本報告中一部前報¹⁾の実験結果と比較しているのので、その化学成分も併記した。

各試料とも C 0.2%, Si 0.7%, Mn 1.5%, Cr 18%, Ni 12% と一定にした。B. 1~3 では B 0.2% 添加し Ti を 1.0, 1.5, 2.0% 添加し、B. 4~7 では B を 0.1% 添加し Ti を 0.3, 0.7, 1.1, 1.5% 添加した Ti 量の影響を検討する試料である。B. 8~10 は Ti を添加したうえ、さらに Nb を添加し Nb の影響を検討する試料である。B. 11~15 は Mo の半量または全部を W で置き換え、W の影響を検討する試料である。

溶解は 15kVA 高周波炉で 6kg 溶製し、80 mm φ × 120mm の鋼塊とし、硬さ、組織用には 10mm 角に、クリープ・ラプチャー試験用には 18mm 角にまで鍛造した。

3. 実験結果および考察

3.1 クリープ・ラプチャー強さ

試験片は直径 6mm、標点間距離 36mm のを用い

1150°C × 1 hr → W. Q., 750°C × 3 hr → W. Q. の熱処理を行ない、700 および 750°C でクリープチャー試験を行なった。本報告ではおもに 700°C での結果を報告する。

まず、前報¹⁾で報告した P 系列試料は溶体化処理後 750°C × 3 hr の時効を行なっていないので、その試料と比較するには熱処理の違いを考慮に入れねばならない。その違いを検討するため、今回

Table 1. Chemical composition of specimens (%).

	C	Cr	Ni	Mo	W	Ti*	Nb	B
B. 1	0.23	16.78	11.98	2.80	—	1.0	—	0.20
B. 2	0.20	16.82	11.98	2.90	—	1.5	—	0.19
B. 3	0.23	16.72	11.96	2.80	—	2.0	—	0.20
B. 4	0.22	16.81	11.98	2.80	—	0.3	—	0.10
B. 5	0.20	16.84	12.00	2.72	—	0.7	—	0.08
B. 6	0.21	16.80	12.02	2.83	—	1.1	—	0.10
B. 7	0.22	16.75	12.00	2.92	—	1.5	—	0.10
B. 8	0.21	16.72	12.00	2.76	—	0.5	0.98	0.18
B. 9	0.23	16.86	11.99	2.98	—	1.0	0.49	0.20
B. 10	0.24	16.87	11.99	2.90	—	1.0	0.99	0.18
B. 11	0.22	16.72	11.98	1.33	1.39	0.5	—	0.20
B. 12	0.22	16.72	12.00	1.34	1.45	1.0	—	0.20
B. 13	0.22	16.70	11.99	—	2.57	0.5	—	0.19
B. 14	0.22	16.70	12.00	1.48	1.50*	0.5	0.49	0.19
B. 15	0.22	16.81	12.00	1.47	1.50*	1.0	0.49	0.19
P. 18	0.23	17.63	11.92	3.09	—	—	—	0.17
P. 21	0.24	17.78	11.96	2.99	—	—	0.44	0.15
P. 22	0.23	17.72	11.98	2.98	—	0.50	—	0.17
P. 24	0.23	17.69	11.96	2.98	—	0.50	0.50	0.16

* Nominal composition.

の試料で相当強力な三試料、B. 1, B. 4, B. 11 について 1150°C で 1 hr 溶体化処理したままの試料と、その後 750°C で 3 hr の時効を行なった試料について試験した。その結果を Table 2 に示す。破断時間の短い B. 1, B. 4 では溶体化処理のままのほうがいくらか強く、破断時間の長い B. 11 では逆に溶体化処理のままのほうがいくらか弱い。結局、溶体化処理のままの試料は短時間側でいくらか強く、長時間側ではいくらか弱くなる傾向を示し、このことを考慮すれば熱処理の違いはそれほど決定的な影響をおよぼさず十分比較対象になり得る。

B 0.2% 添加した水準で Ti 量を 0 から 2.0% まで

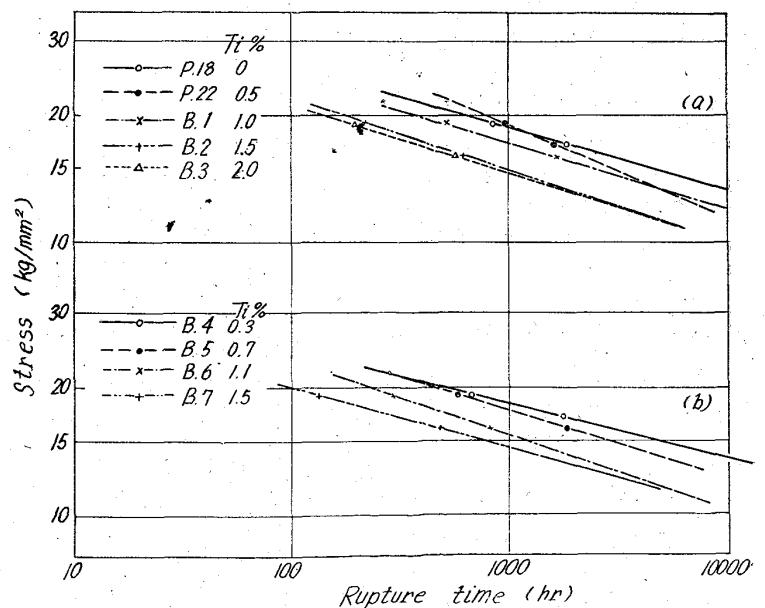


Fig. 1. Stress-rupture time curves for specimens of various Ti content at 700°C.

Table 2. Effect of aging treatment on creep rupture strength of specimens B. 1, B. 4, B. 11. (19 kg/mm² at 700°C)

Heat treatment	1150°C×1 hr→W.Q.		1150°C×1 hr→W.Q. 750°C×3 hr→W.Q.	
	E (%)	Time (hr)	E (%)	Time (hr)
B. 1	35.2	774.3	47.1	526.5
B. 4	32.8	823.0	45.8	679.2
B. 11	33.8	1009.6	45.3	1393.8

増した試料の応力-ラプチャー時間曲線を Fig. 1a に、B 0.1% 添加した水準で Ti 量を 0.3 から 1.5% まで増した試料の応力ラプチャー時間曲線を Fig. 1b に示す。B を 0.2% 添加した水準で Ti を 0.5% 添加した試料 P.22 が Ti を添加していない試料 P.18 より短時間側でいくらか強いのを除き、Ti 量の多いほどクリープ・ラプチャー強さは弱く、また曲線の傾斜が大きく長時間側で強さが著るしく減少する傾向を有する。また、B 添加量を 0.2% から 0.1% に減少しても Ti の添加量を低目を選べば、B を 0.2% 添加したときと同様な、むしろすぐれた強度が得られる。このことは B は鍛造性、溶接性を悪くするのでその添加量を低目におさえる必要があり、そのうえからも意義が大きい。

さらに、長時間のクリープ・ラプチャー強さにおよぼす Ti 添加の影響を検討するのに意味がある 750°C での試験結果を Fig. 2 に示す。Ti, Nb の炭化物形成元素を含まない P. 18 試料は他の試料に比較し明らかに強く、またその差は顕著である。この現象は B を含まない試料では認められない。すなわち、炭化物形成元素を添加しないほうがクリープ・ラプチャー強さに対して好ましいという現象は含ボロン鋼の特性である。当然、さらに Nb の添加は Fig. 3a に示すように高温性質を高める傾向は何等認められない。

次に Mo の半量または全部を W で置き換えた効果を Fig. 3b に示す。Mo 3% の半量を W で置き換えることは Ti 添加量の少ない B. 11 では明らかに効果がある。しかし、Ti, Nb 添加量が多くなるとその効果はなくなり、むしろ Mo を 3% 添加しているほうが強く、さらに Ti, Nb 量が多くなると両者の差はまったく認められなくなる。しかし、Ti 添加量の少ない場合でも Mo の全量を W で置き換えると強度は相当低下する。

結局、含ボロン鋼では Ti を添加せず、Mo 1.5%, W 1.5% 程度添加したとき、最も高温性質を高めることができる。しかし、Ti はこの材料の鍛造性を非常に良くする効果があるので、その意味から 0.2~0.5% の少量の Ti を添加する必要がある。

3.2 時効硬さ

時効は 1150°C, 1 hr の溶体化処理後、600,

700, 800°C で 1000 hr まで行ないその間の適当時間ごとに硬さを測定した。

まず溶体化処理状態での硬さにおよぼす Ti 量の影響を検討した。B 0.2% 添加した水準で Ti 添加量を 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% と増すとビッカース硬さは 190, 188, 185, 175, 176 と低くなり、また B 0.1% 添加した水準で Ti 添加量を 0.3, 0.7, 1.1, 1.5% と増すと 179, 178, 175, 164 と低くなる。すなわち Ti は溶体化処理状態で TiC として析出しており、地の C 濃度を上げている。また、その時効硬さ曲線は溶体化処理状態の硬さの差をそのままに平行移動した形でわずかに硬化しているにすぎないので、Ti 添加量の増大とともにクリープ・ラプチャー強さが低下するのは地の C 濃度が減少するのがそのおもな原因と思われる。とくに、含ボロン鋼では溶体化処理温度をさらに高め炭化物を固溶させようとすれば粒界に硼化物の共晶が生成し、靱性が著るしくそこなわれるので、多量の Ti を添加することは得策でない。

つぎに今回の実験で高温強度の高かつた B.1, B.4, B.11 試料の時効硬さ曲線を Fig. 4 に示す。この弱析

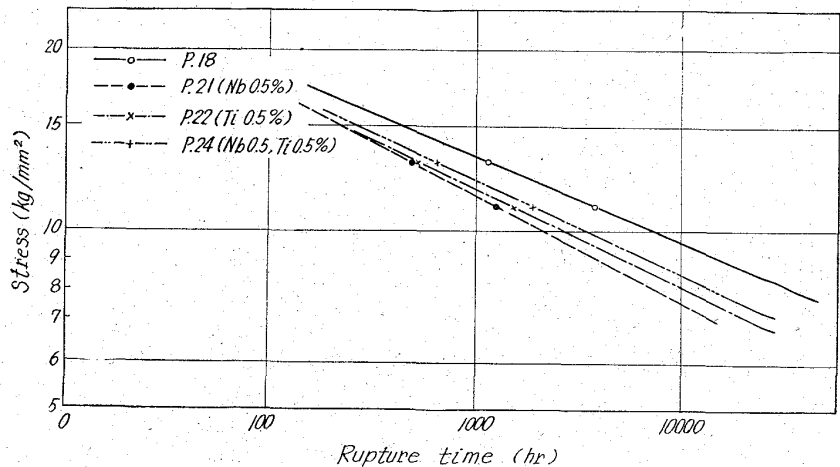
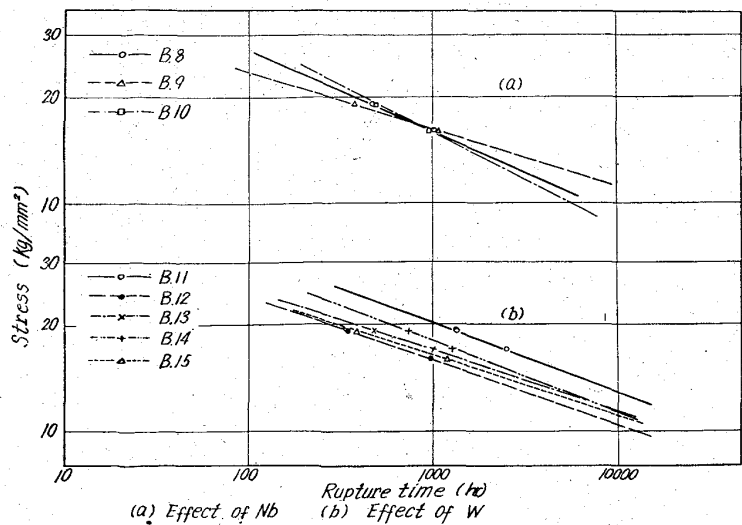


Fig. 2. Stress-rupture time curves for specimens at 750°C.



(a) Effect of Nb. (b) Effect of W.

Fig. 3. Stress-rupture time curves for specimens of various Nb and W content at 700°C.

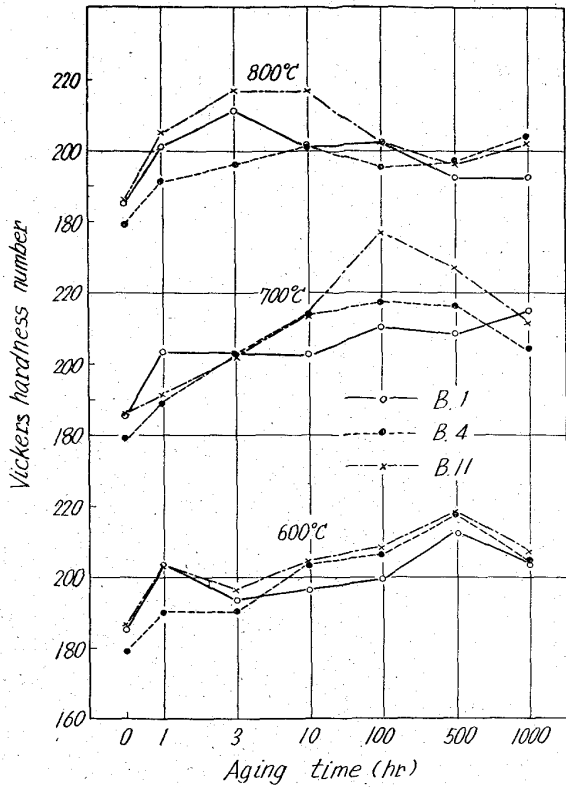
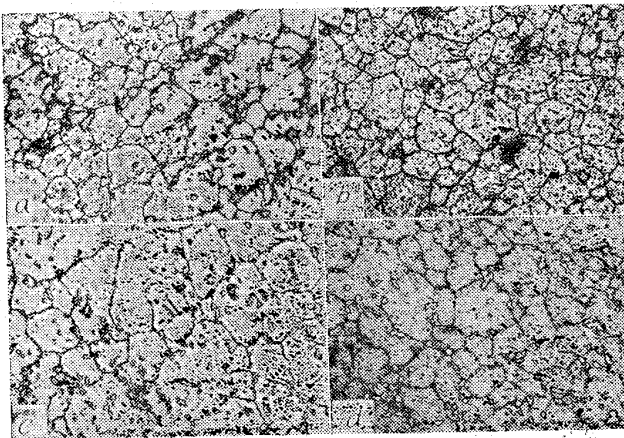


Fig. 4. As-aged hardness curves at various temperature.



a) P.22 ×500 b) B.1 ×500
c) B.11 ×500 d) B.13 ×500

Photo. 1. Microstructure of specimens aged at 700°C for 1000hr. (1/2)

出硬化型の耐熱鋼では前報でも報告した通り、合金元素による時効硬さ曲線の顕著な差異は認められず、クリープ・ラプチャー強さとの相関々係を求めることは困難ではあるが、このクリープ・ラプチャー強さの高かつた三試料は他の試料に比較していくらか硬化量が多く、弱い析出硬化性もある程度高温性質を改善するのに寄与していることが推察される。

3.3 顕微鏡組織

溶体化処理状態ではまゆ状の M_3B_2 , M_2B 硼化物、角ばった $Ti(C, N)$, $Cr_{23}C_6$ の残留析出物が認められ、Ti 添加量が多くなると残留析出物の量は著るしく増加

する。本実験で用いた全試料とも、 δ フェライトの生成は認められず、完全なオーステナイト鋼である。

つぎに時効による組織変化の代表例を Photo.1 に示す。前報で B と Mo を同時に添加すると組織変化がすくなく、安定で高温強度が高いことを明らかにしたが、今回の実験でも組織変化のすくない試料ほど、クリープ・ラプチャー強さは高い。Photo.1 (a), (b) で明らかのように Ti 添加量の増加は残留析出物の量を多くするとともに時効による析出量が著るしく増大する。さらに Ti 添加量を増すと地の C 濃度が著るしく低下するため粒内での炭化物の析出は阻止されるが、粒界での巨大な σ 相, Laves 相の析出が加速されている。つぎに Mo 3% の半分 1.5% を W で置き換えても Photo.1 (c) に示すよう組織変化がすくなく高いクリープ・ラプチャー強さを保持しているが、Mo の全部を W で置き換えると Photo.1 (d) に示すように析出が著るしく増大し、クリープ・ラプチャー強さも低下している。結局、組織変化の観察から、Mo と B の相乗効果は Mo 1.5% の時にも認められるが、W のみでは Mo と同様な効果は期待できないことが明らかである。

3. 結 言

含ボロン・オーステナイト系耐熱鋼のクリープ・ラプチャー強さにおよぼす Ti, Nb, W 量の影響を検討し、つぎの結論を得た。

1. クリープ・ラプチャー強さは Ti 添加量の少ないほうが強く、とくに長時間の特性を改善するには Ti を添加しないほうが良い。しかし、この材料の鍛造性を良くするため 0.2~0.5% の Ti 添加は必要である。Nb の添加は好ましくない。

2. B 添加量を 0.2% から 0.1% に減らしても Ti 添加量を低目を選べば同程度のクリープ・ラプチャー強さを保持できる。

3. Ti 添加量 0.5% と少ないとき、Mo 3% の半分 1.5% を W で置き換えるとクリープ・ラプチャー強さは向上する。

文 献

- 1) 河部 他: 鉄と鋼, 50 (1963) 4, p. 729