

(160) 超臨界圧ボイラー用オーステナイト系ステンレス鋼のクリープ特性

神戸製鋼所, 中央研究所

中野 平・工博 山本俊二

○太田定雄・大砂 寛・清水哲吾

Creep Properties of Austenitic Stainless Steels for Super-Critical Boilers.

Taira NAKANO, Dr. Shunji YAMAMOTO,

Sadao OHTA, Hiroshi ŌSUNA and Seigo SHIMIZU.

1. 緒 言

最近の火力発電所は、高効率、大型化を計るため、益々高い蒸気温度、圧力を採用するすう勢にあり、各所で超臨界圧ボイラーが運転または試験中である。

現在蒸気温度 600°C 以上のボイラーの過熱管用材料としては、各種の超耐熱鋼が使用の対象とされているが、超耐熱鋼は、加工性、溶接性に問題があり、かつ高価であるため、超臨界圧ボイラーの経済性をいちじるしく損っている。

高温強度がすぐれ、良好な加工性、溶接性を有し、かつ安価なボイラー過熱管用耐熱鋼を得るため、当社では 18-8 系オーステナイト鋼にできるだけ少量の添加元素を加えることによつて、高温強度を高めることを検討した結果、316 ステンレス鋼に Ti および B を添加することにより、650°C で 316, 321, 347 に比べいちじるしくクリープ強度のすぐれた材料を得、前報で報告した。

今回は、これに、いくつかの成分上の検討を加えて、700°C におけるクリープ破断試験を行なった結果、二、三すぐれたクリープ強度を有する材料が得られたので、その結果を報告する。

2. 試 験 材

試験材の化学成分を Table 1 に示す。

試験材 No.1 は前報で報告した、316 に Ti, B を加えたものであるが、粒界へのクロム炭化物の析出を少なくするため、Cr を 16% とし、熱間加工性、溶接性の点から B を低くして 0.05% とした。

No.2 は、Ti 含有量を増したもので、Ti/C=5 となっている。

No.3 は、合金元素をさらに少なくするため、Ni, Cr 含有量をオーステナイト単相となる下限まで下げ、B も低くしたものである。

No.4 は、650~700°C で高温強度の上昇に効果のあるといわれる V を加え、これに応じて C 量を高くしてい

る。

No.5 は炭化物生成元素として Ti のかわりに Nb を加えたもの、No.6 は Nb よりさらに有効と考えられる Ta を加えたものである。

No.7 は、オーステナイト基地として 18-8 系より安価な Cr-Ni-Mn 系を用いるもので、オーステナイト単相とするため、Cr 12%, Ni 9%, Mn 7%, これに Mo, Nb, B を加えたものである。

試験材は、いずれも 500kg 高周波炉で溶解し、300kg インゴットとしたものを径 20mm 丸棒に鍛造した後、1100°C・2hr・W. Q. の溶体化処理を行ない、各種試験片に加工した。

3. 試 験 結 果

3.1 溶体化処理

鍛造後、1000~1250°C の温度で溶体化処理したものの顕微鏡組織を観察すると、いずれの試験材も 1000~1150°C で溶体化処理したものは、炭化物、窒化物、ボロン化合物などがかなり多量に未溶解のまま残っている。これらは約 1200°C 以上の温度で溶体化処理を行なうと大部分地に固溶するが B を含むため、1150°C より高い温度で加熱すると、粒界に、Fe-B の共晶と考えられる溶融相が現われる。

このため、溶体化処理温度は、1100°C・2hr・W. Q. とした。

3.2 高温引張試験

各試験材について常温から 700°C までの温度で引張試験を行なった結果を Fig. 1 に示す。

耐力、引張強さとも各試験材の間には大きな差がみられないが、V を含む No.4 は高温の強度がやや高く、Cr-Mn-Ni 基の No.7 はやや低い。温度による耐力の変化は、いずれの試験材も 316 と同じく常温から 200°C まで急激に低下し、それから 720°C までほとんど変化しないが、引張強さは 600~700°C の間で急激に低下する。

常温の強度を AISI 316 と比較すると、引張強さは約 2~6kg/mm²、耐力は約 1~3kg/mm² 高いだけであるが、700°C では引張強さは約 4~9kg/mm²、耐力は約 2~5kg/mm² 高く、常温強度の増加に比べ高温強度の上昇が大きい。

伸びはかなりばらついているが、いずれも常温から 200°C まで急激に低下し、200~700°C までほとんど変化せず 316 と同じ傾向を示す。伸びの値は、316 と比べるといずれの温度でも 5~10% 低くなつているが、No.1 は他の試験材に比べるとやや高い。

Table 1. Chemical composition of steels.

Steel No.	Chemical composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Ti	B	Others
1	0.09	0.71	1.81	0.014	0.006	11.66	16.07	2.40	0.29	0.055	—
2	0.10	0.88	2.06	0.014	0.003	12.34	16.07	2.40	0.51	0.047	—
3	0.10	0.91	2.05	0.013	0.004	10.74	13.81	2.54	0.53	0.021	—
4	0.14	0.77	1.87	0.013	0.005	11.96	15.39	2.29	0.31	0.062	V 0.25
5	0.085	0.49	1.91	0.013	0.012	12.66	16.16	2.48	—	0.062	Nb 0.84
6	0.096	0.79	1.61	0.012	0.013	11.84	16.20	2.45	—	0.072	Ta 0.84
7	0.11	0.79	6.93	0.015	0.011	8.60	12.17	2.40	—	0.072	Nb 0.92

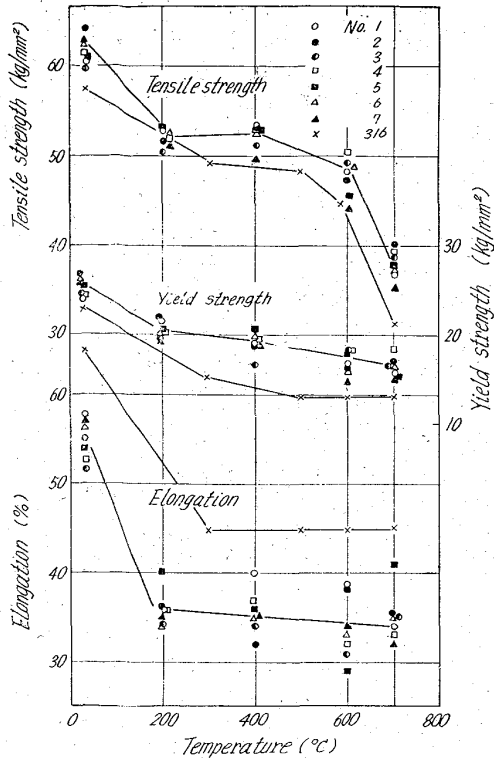


Fig. 1. Tensile properties of steels.

3.3 クリープ破断試験

各試験材の 700°C におけるクリープ破断試験結果を Fig. 2 に示す。またこれから求めた 1,000 hr および 10,000 hr クリープ破断強度の大体の外挿値を Table 2 に示す。

これらの材料はいずれも 316 に比べると非常に高い強度を有しているが、316 に Ti および B を添加した No. 1 に比べると、No. 5, 6 はすぐれているが、No. 2, 4, 7, 3 はかなり劣っている。

No. 5 は Ti のかわりに Nb を加えたものであるが、TiC より微細な NbC が転位に析出し、TiC より有効にクリープを阻止するためと考えられる。No. 5 では、

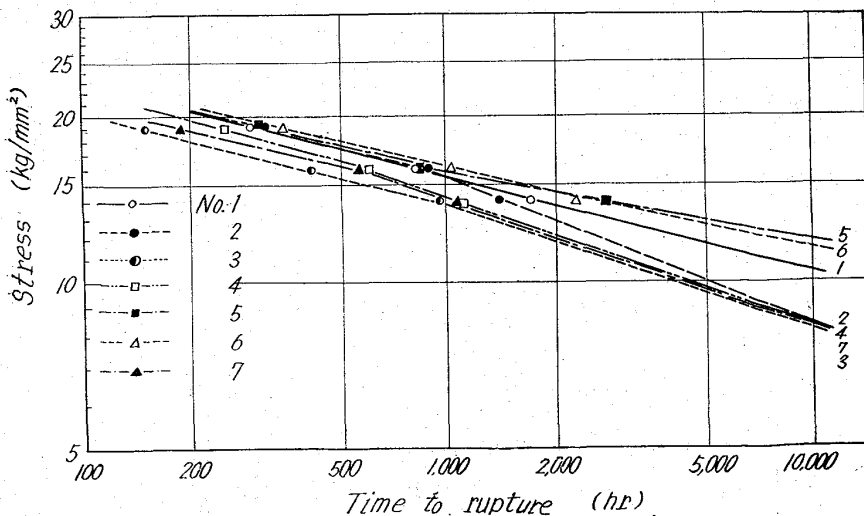


Fig. 2. Stress-rupture-time curves of steels at 700°C.

Table 2. Creep-rupture strength of steels.

Steel No.	Creep-rupture strength at 700°C (kg/mm ²)	
	1,000 hr	10,000 hr*
1	15.5	10.5
2	15.5	8.5
3	14.0	8.0
4	14.5	8.5
5	15.5	12.0
6	16.0	11.5
7	14.5	8.5

* Extrapolated.

Nb は C 量に対し NbC に対する当量以上に加えているが、No. 6 では、Ta は TaC に対する当量の約半量を添加しているがクリープ強度は No. 5 とほとんど同程度になっている。Ta は Nb と同様微細な TaC を析出するが、TaC は結合エネルギーが大きく、Ta の拡散速度が小さいので析出物の粗大化がおそいため、C 量に対し低い含有量で高い強度を示すものと考えられる。

これらの炭化物の析出や B の作用についても、電解分離および顕微鏡観察でしらべた。

Ti 量が No. 1 より低い No. 2 はクリープ強度が長時間でやや劣り、Ti/C は AISI 321 と同様 4 以下がよいものと考えられる。

Cr, Ni 量を低くした No. 3 は、クリープ強度が最も低い。これは B 含有量の低いためとも考えられるが、Ni, Cr の含有量は単にオーステナイト単相を保つだけでは不十分で、固溶体強化のためある量以上添加する必要があるものと思われる。

No. 4 は、高温引張強度は高いが、クリープ強度は No. 1 に比べるとかなり低く、V の効果は認められなかった。

オーステナイト基地として、Cr-Ni-Mn 系を用いた No. 7 は、常温ではかなりの強度を有するが、高温では引張強さ、クリープ強度ともに低くなっている。この試験材はオーステナイト単相を保つに必要な最小限の Ni, Cr, Mn を含むだけであるので、これらの合金元素含有量が低いため高温強度が劣るものと考えられる。

この結果から、クリープ強度のすぐれている No. 1, 5, 6 を他の耐熱鋼と比較して Fig. 3 に示す。

多量の合金元素を含む G18B と比べると、No. 1, 5, 6 はかなり強度が低いが、Esshete 1250 とでは、短時間では劣るが長時間では同程度の強度を示すものと考えられる。

No. 1, 5, 6 は、316 と比べると強度がいちじるしく高く、316, 321, 347 などが 650°C で示すと同程度の強度を 700°C で有しており、超臨界圧ボイラー過熱管用材料として極めて有望であると考えられる。

3. 結 言

316 型ステンレス鋼に Ti-B, Nb-B

669.14.018.252.3 : 669.779 : 669.775
 : 669.786 : 669.6 : 669.778

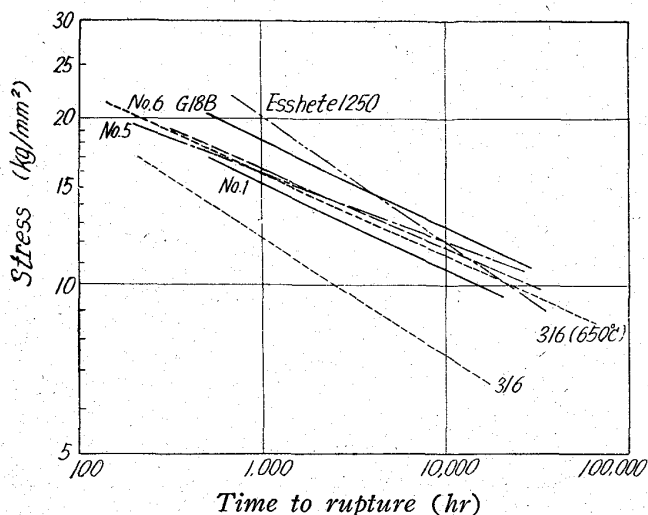


Fig. 3. Comparison of creep-rupture strength of heat-resisting steels at 700°C.

または Ta-B を組合せて添加することにより、比較的少量の添加元素によつて、従来の 316, 321, 347 などが 650°C で示すと同程度のクリープ被断強度を 700°C において有する材料が得られることが明らかとなった。

これらの材料は、今後さらに熱間加工性、溶接性などの点について検討を加える必要があるが、超臨界圧ボイラー用鋼管材として極めて有望であると考えられる。

(161) 18-4-1 型高速度鋼におよぼす P, S, N, Sn, As の影響

日本特殊鋼

相沢 力・○鈴木 正之

Effects of P, S, N, Sn and As on 18-4-1 Type High Speed Steel.

Tsutomu AIZAWA and Masayuki SUZUKI.

1. 緒言

高速度鋼に混入する不純物については従来から多くの人々によつて研究されて来た。小柴¹⁾は 0.02%~0.06%

までの N を研究し、0.04% 以上で切削耐久力を減少すると述べている。一方 Sn について、小柴^{2)~4)}は 0~3% までを調査し 1% 以上の Sn は急激に耐久力を減少する。ことに 2% 以上はいちじるしいと述べ、FRENCH & DIGGES⁵⁾⁶⁾も Sn は 0.5% まではたいした影響を示さないと記しているのに対し、佐藤⁷⁾は 0.07% 付近より急激に衝撃値を低下し、切削耐久力は Sn が 0.04% で約 3/4 に低下すると述べている。また As についても、小柴¹⁾はその量を増すほど耐久力を低下し、0.2% 以上はいちじるしいと報告している。FRENCH & DIGGES⁵⁾⁶⁾, GILL & FROST⁸⁾は、As, Sn はその量を増加すると結晶粒を微細にする。材質を脆くするなど述べている。しかしいずれも不純物が多量に含有されたものが多く、ごく微量に混入した場合について研究されたものはほとんど見当たらない。また、P, S は鋼質を劣化させるものとして極力その混入を避けているが、その研究報告はわずかである。そこで著者は SKH2 について、通常、溶解において混入して来るとされる不純物の中から、特に、切削性に影響をおよぼすと考えられる P, S, N, Sn, As について、これらが単独で微量混入した場合の機械的性質におよぼす影響を調査したので、その結果を報告する。

2. 供試材および実験方法

2.1 供試材

35 kVA 高周波誘導炉により溶製した 8kg Ingot を 12mm φ, 15mm φ に鍛伸し、これを焼鈍した後、各実験に供した。これらの化学成分を Table 1 に示す。

2.2 実験方法

上記焼鈍材の 12mm φ より静的曲げ試験片 8mm φ × 100mm を、15mm φ よりシャルピー衝撃試験片および切削耐久試験用バイトを作製した。焼入は塩浴炉を用い浸漬時間を 3min とし、油中焼入を行なった。焼戻は各供試材とも 1 hr 保持 2 回繰返しとし、保持後空冷を施した。靱性の判定についてはねじり試験⁹⁾、無溝衝撃試験などもあるが、本実験では広く用いられている静的曲げ試験¹⁰⁾、およびシャルピー衝撃試験を採用した。静的曲げ試験は支点間距離 80mm、巾 30mm の 2 点荷重式試験機をアムスラー試験機で荷重し、破断までの荷重および撓み値を測定した。シャルピー衝撃試験につい

Table 1. Chemical composition of specimens (in wt.%)

Designation	C	Si	Mn	P	S	Cr	W	V	N	Sn	As
STD (S 1)	0.77	0.30	0.48	0.005	0.017	4.08	18.36	0.95	0.0164	—	—
P 1	0.76	0.29	0.48	0.008	0.016	4.08	18.00	0.97	0.0152	—	—
P 2	0.76	0.30	0.50	0.026	0.016	4.11	17.92	0.95	0.0170	—	—
P 3	0.78	0.31	0.50	0.036	0.016	4.05	17.84	0.97	0.0170	—	—
S 2	0.76	0.29	0.50	0.006	0.027	4.03	17.82	0.96	0.0170	—	—
S 3	0.75	0.29	0.50	0.006	0.045	4.03	17.85	0.99	0.0189	—	—
N 1	0.76	0.29	0.48	0.006	0.012	4.11	17.64	0.99	0.0365	—	—
N 2	0.78	0.30	0.48	0.006	0.013	4.27	17.83	1.03	0.0399	—	—
N 3	0.72	0.28	0.48	0.006	0.014	4.06	17.98	0.88	0.0741	—	—
Sn 1	0.74	0.32	0.52	0.009	0.015	3.99	17.99	0.98	0.0140	—	—
Sn 2	0.74	0.29	0.49	0.006	0.014	3.99	18.03	0.97	0.0160	—	—
Sn 3	0.74	0.28	0.49	0.006	0.014	3.99	18.00	0.97	0.0090	—	—
As 1	0.75	0.29	0.49	0.008	0.017	4.19	18.28	0.96	0.0110	—	—
As 2	0.76	0.28	0.52	0.009	0.014	4.06	18.00	0.97	0.0110	—	—
As 3	0.74	0.36	0.49	0.010	0.014	4.13	17.87	0.96	0.0130	—	—