

Fig. 4. Creep rupture curves of boron-containing austenitic stainless steel (B-3), boron-free austenitic stainless steels and some heat-resisting steels.

ラプチャー強度が高く、耐熱鋼グループの Hastelloy C, 19-9 DX に匹敵し得ることが確認された。Zr 系は ASTM 316 平均値より低く、試験後の組織は粒界に Zr 化合物が凝集し、破断先端部は結晶粒が変形せずに粒界に亀裂が連なつて割れ目を作り粒界破断となつていことから Zr 化合物は粒界の分離抗力を低下せる。Ti-B 系は B 含有量の増加とともに B 化合物が多くなつているが、クリープラプチャー強度の高くなつたことは、溶質原子としての B の効果ならびに粒界、粒内に微細に析出している析出物が転位の移動阻止にきわめて有効であつたものと考えられる。

III. 結 言

316 型ステンレス鋼に Ti-B, Zr を添加すると、両鋼種とも結晶粒は微細となり、650°C クリープラプチャー特性については、Zr の添加に対する効果は認められないが、Ti-B を添加することにより従来のオーステナイト系ステンレス鋼グループに較べ非常にすぐれ、耐熱鋼に匹敵し得るクリープラプチャー強度の得られることを明らかにした。

669.14.018.44:669.15'24'26-194.56
(171) オーステナイト系耐熱鋼のクリープ破断強さについて

東京大学工学部 工博○藤田 利夫
日立金属工業 笹倉 利彦
東京大学工学部 岳野 洋允

Creep Rupture Strength of Austenitic Heat-Resisting Steels.

Dr. Toshio FUJITA, Toshihiko SASAKURA and Yōsuke TAKENO.

I. 結 言 63171

最近の火力発電所は世界的に高温高圧化され、わが国でも 560°C, 240 kg/cm² 級の超臨界圧のボイラが計画され、米国ではすでに 650°C, 350 kg/cm² 級のものが運転されているので、すぐれたクリープ強度を有する安価なオーステナイト系耐熱鋼の要望が高まっている。英国の Swinden Laboratory で Esshete 1250 を開発しているのもそのあらわれである。著者らは数年前から、長時間 (10 万 h) の寿命を要求されるオーステナイト系耐熱鋼について研究しているが、本報ではこれらの研究の一部を述べることにする。

II. 試料および熱処理

使用した試料は Table 1 に示す。試料は高周波電気炉で 25 kg 溶解し、20mm 角棒に鍛造したものをクリープ試験片に使用し、また 10mm 角材に鍛造したものを時効硬度試験に使用した。

S1 は TAF 鋼 (12% Cr 耐熱鋼) に Ni を 15% 添加してオーステナイト鋼にしたもので、S2 は S1 の合金元素量を約 2 倍にしたものである。S3 は 15Cr-15Ni 系に W, Nb を 2% ずつ添加し、さらに比較的多量に B, N などを加えて強化したものである。S4 は英国の Rex 467 の化学成分を目標にしたもので、Mo, Ti などの炭化物の析出により長時間のクリープ破断強度は非常にすぐれている。S5 は S4 に W, B などを添加して強度を高めたものである。S6 および S7 は Mo, W, Nb などを添加した上に、Ti を 1.6~2.2% 程度添加して Ni₃Ti 析出硬化をねらつたものである。S8 は Ti および Al を添加してさらに高度の析出硬化をはかつたものである。

クリープ試験片および硬度測定にはつきのごとき熱処理を行つた。

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Steel No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	Nb	Ti	B	Other element
S1	0.23	0.66	0.83	15.20	12.32	0.96	—	0.22	—	0.04	V 0.23 · N 0.03
S2	0.23	0.64	0.90	14.72	11.78	2.2	—	0.51	—	0.08	V 0.31 · N 0.05
S3	0.47	1.24	0.73	14.28	14.09	—	2.05	1.9	—	0.145	N 0.11
S4	0.21	1.0	1.0	10.40	14.50	2.05	—	—	0.85	—	Cu 2.94
S5	0.22	1.0	1.0	10.00	14.68	2.08	1.54	—	0.87	0.148	Cu 2.84
S6	0.08	1.32	0.92	15.80	14.18	1.38	1.17	0.36	1.60	0.11	—
S7	0.08	1.33	0.97	18.34	14.18	1.38	0.84	0.39	2.18	0.11	Zr. added
S8	0.04	1.43	1.03	18.12	14.11	1.35	1.15	—	1.92	0.10	Zr. added

クリープ試験片 { 溶体化処理 1150°C×1h → 油冷
 時効処理 750°C×20h → 空冷
 硬度測定 { 溶体化処理 1150°C×1h → 油冷
 時効処理 600, 650, 700, 750, 800°C
 ×1, 3, 10, 30, 100, 300, 1000 h

III. 実験結果

(1) クリープ破断強度

Fig. 1に S1, S2 の応力-時間曲線を示す. TAF鋼に Ni を添加してオーステナイト鋼にすれば, 550~600°C のクリープ破断強度はあまり変わらないが, 650~700°C の強度は非常に良くなる. とくに合金元素を多量添加した S2 のクリープ破断強度はすぐれている.

Fig. 2 は S3, S4 および S5 の応力-時間曲線を示

す. 650~700°C では S3, S4 のクリープ破断強度はほとんど同じで, かつ長時間の強度もすぐれているが, S5 はさらにすぐれている. S5 は Mo, W, Cu, Ti, B, C などにより強化されているが, これは恐らく TiC の微細な析出, Mo, W などの複炭化物の析出, さらに B による結晶粒界の強化と炭化物の析出をおくらせるなどの結果, 長時間のすぐれた強度が得られるものと考えられる. なおこれらに対しては電解分離による研究を行なった.

Fig. 3 は S6, S7 および S8 の応力-時間曲線を示す. これらの Ti, Al による強析出硬化型オーステナイト耐熱鋼は, 650°C のクリープ破断強度はすぐれているが, 700°C ではかなり低下する. しかも, S7 は 650°C においては破断伸びが小さい.

(2) 時効硬化

Fig. 4に, S2, S3, S5 および S8 の時効など硬度曲線を示す. S2, S3 および S5 はほとんど時効硬化化にないが, S8 は 650~700°C でかなり硬化をおこす. これらの結果とクリープ破断強度とから考えると, オーステナイト系耐熱鋼に時効硬化をおこさせることよりも, 使用温度付近で安定な組織にし, かつ硬度変化をあまりおこさせない方が長時間のクリープ破断強度を高めることになる.

(3) 超耐熱鋼とのクリープ破断強度の比較

Table 2に S5 と現在使用されている代表的な超耐熱鋼すなわち, Eshete 1250, G 18B, N-155 など

と 650 および 700°C のクリープ破断強度を比較した. Eshete 1250 は前記の Swinden Laboratory で 100 万 h のクリープ破断試験の結果から求めたボイラ用鋼である.

これは偶然にも本研究の S2 と化学成分が比較的類似し, しかもクリープ破断強度もほぼ等しい. S5 は低 Ni 系オーステナイト耐熱鋼でありながら, 他の超耐熱鋼にくらべてかなりすぐれたクリープ破断強度を有することは注目値する.

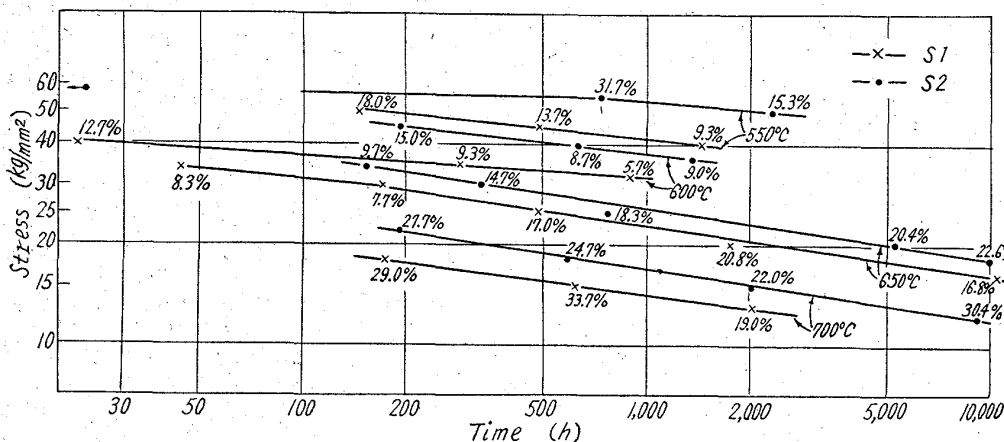


Fig. 1. Stress-time curves of S1 and S2.

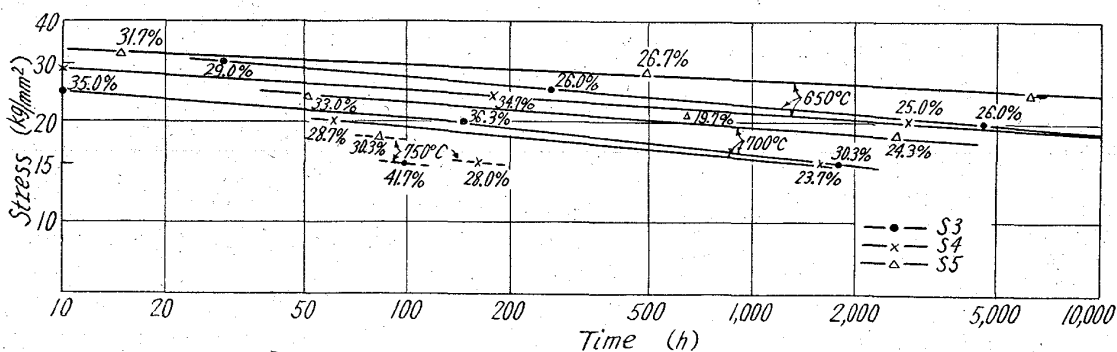


Fig. 2. Stress-time curves of S3, S4 and S5.

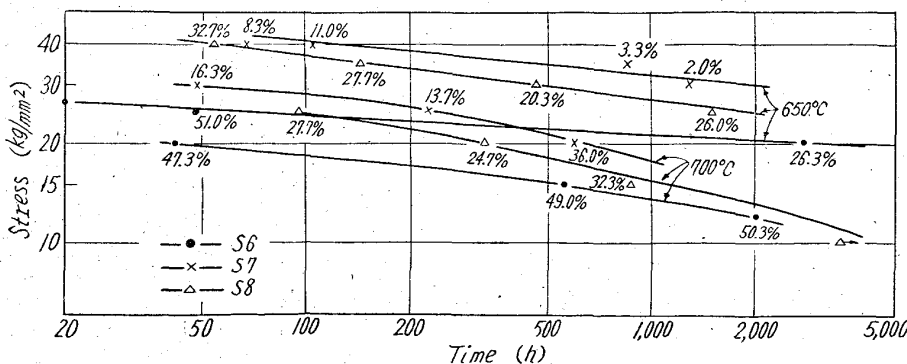


Fig. 3. Stress-time curves of S6, S7 and S8.

Table 2. Rupture strength of superheat-resisting steel.

Steels names	Chemical composition (%)										Rupture strength* (kg/mm ²)					
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	W	Nb	B	Other elements	650°C			700°C		
											1000	10000	100000	1000	10000	100000
S 5	0.22	1.0	1.0	14.68	10.00	2.08	1.54	—	0.148	Ti 0.87 Cu 2.84	27.0	24.0	(21.0)	19.2	16.3	(13.5)
Esshete 1250	0.10	0.5	6.0	15.0	10.0	1.0	—	1.0	Added	V 0.25	23.5	19.6	(17.0)	20.5	11.8	(7.2)
G18B	0.40	1.0	0.8	13.0	13.0	2.0	2.5	3.0	—	Co 10.0	23.5	18.1	(14.0)	18.5	13.2	(9.0)
N-155	0.15	0.5	1.5	20.0	20.0	3.0	2.0	1.0	—	Co 20.0 N 0.15	28.0	22.0	(17.2)	21.0	(16.0)	(12.0)

* For rupture in 100 and 1000 h.

(); Extrapolated value
 669, 14, 018, 44, 669, 15, 24, 26, 27-194
 (172) NA-22H の 1200°C クリー
 プ破断強さにおよぼす合金
 元素の影響
 539, 434
 669, 014, 6

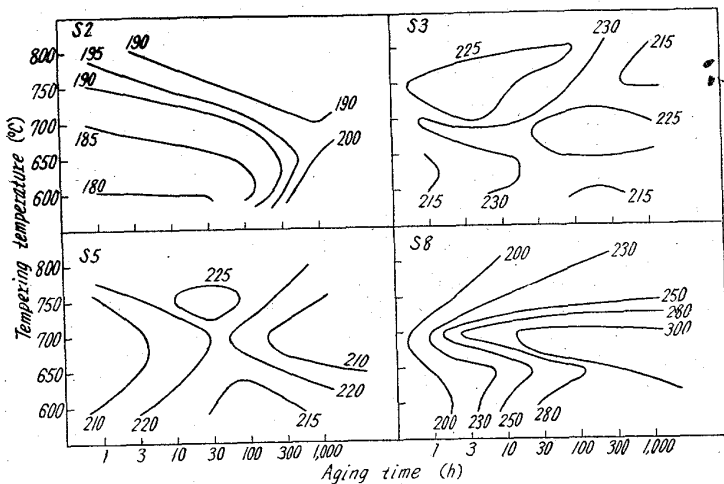


Fig. 4. As-aged hardness of S 2, S 3, S 5 and S 8.

IV. 結 言

以上の実験結果を要約すればつぎのごとくなる。

(1) 600~700°C 付近で長時間のクリープ破断強度および破断伸びのすぐれたオーステナイト系耐熱鋼は、強析出硬化型よりも弱析出硬化型のものである。

(2) 弱析出硬化型耐熱鋼としては C, B, N と Mo, W, Ni, V などを組合せるよりも C, B と Mo, W, Ti, Cu などを組合せる方がより有利である。

(3) B を多量添加すればクリープ破断強度は良くなるが、溶接性に問題が残るため B 量は溶接性にさしつかえない程度に添加し、他の合金元素の組合せを適当にし、かつ熱処理 (主として溶体化処理) を最上の条件に持つて行けば、15Cr-10Ni 系オーステナイト鋼でも、650~700°C で G18B, N-155 程度以上のクリープ破断強度を有するものを開発することも困難でない。

(4) 時効硬度から、オーステナイト系耐熱鋼の長時間クリープ破断強度を推定することは非常に困難である。

太平洋金属工業
 工博 井上繁弘・土屋 隆・○松本洋祐
 Effect of Alloying Elements on
 the Creep Rupture Strength of
 NA-22H at 1200°C. 63/72
 Dr. Shigehiro INOUE, Takashi TSUTIYA
 and Yosuke MATSUMOTO.

I. 緒 言 611~613

NA-22H (48Ni-27Cr-6W) は 1000°C 以上でインコネル合金よりも大きな高温強度をもつ耐熱鋼として知られている。

本実験では、NA-22H の 1200°C におけるクリープ破断強さに各合金元素が単独で何如なる影響をおよぼすものであるかを調査し、併せてその際に見られるミクロ組織上の変化を検討したので、その結果を報告する。

II. 試 料

試料はすべて、100kg および 500kg 高周波誘導炉により実際操作に溶製した。

NA-22H の基準成分は、48% Ni, 27% Cr, 6% W, 0.4% C, <2% Si, Mn とした。含有量を変化させた成分は C, W, Si, Ni, Cr の 5 成分で、各成分の含有量変化は単独とし、成分上の調整は Fe によつた。

すなわち、C は 0.2, 0.4, 0.6, 0.8%, W は 2, 4, 6, 8%, Si は 0.5, 1.0, 1.8, 3.0% の各 4 段階、Ni は 43, 48, 53%, Cr は 22, 27, 32% 各 3 段階、計 14 種の試料を ASTM, B 190 規定の寸法に砂型にて铸造し、30φ×240l の本体よりクリープ破断試験および顕微鏡試験片を採取した。

なお NA-22H の強度的な位置を明確にするために、1200°C でしばしば用いられるインコネルを試料に加えた。全試料に対して、組織上の条件を整える意味で 1100°C×1→W. Q. の処理を施した。

III クリープ破断試験機

試験機本体は直接荷重式で、荷重能力は 2~60kg である。炉は縦筒型 (250φ×55φ×350l) のシリコニッ