

Table 4. Charpy impact value of AISI 310S deposited metals and heat-affected zone at room and subzero temperatures.

Test No.	Heat treatment	Deposited metal (ft-lb)		
		20°C	-101°C	-196°C
K-87	As welded	15.9 (25.8)*	16.9 (25.0)	14.9 (24.6)
	1100°C × 1 h	21.5	20.9	18.8
	650°C × 2 h	19.6	15.3	12.1
	850°C × 2 h	20.5	14.7	10.5
K-86	As welded	14.8 (25.0)	16.1 (25.2)	12.3 (27.9)
	1100°C × 1 h	21.7	21.8	17.8
	650°C × 2 h	16.5	16.7	12.9
	850°C × 2 h	16.7	12.0	9.5
K-78	As welded	14.9 (26.0)	16.3 (29.5)	13.8 (32.6)
	1100°C × 1 h	21.4	20.2	17.7
	650°C × 2 h	15.3	16.9	13.0
	850°C × 2 h	16.3	14.6	8.7
K-77	As welded	14.4 (28.1)	15.3 (25.3)	14.0 (25.5)
	1100°C × 1 h	20.9	19.8	17.5
	650°C × 2 h	16.8	15.2	11.3
	850°C × 2 h	17.1	13.3	9.5
K-49	As welded	16.7 (26.5)	16.9 (29.9)	14.8 (31.4)
	1100°C × 1 h	22.0	19.8	19.5
	650°C × 2 h	19.4	18.9	12.8
	850°C × 2 h	18.9	13.0	9.5
K-50	As welded	14.1 (26.9)	15.9 (27.1)	12.8 (25.0)
	1100°C × 1 h	19.8	21.2	17.4
	650°C × 2 h	15.9	14.5	9.9
	850°C × 2 h	15.5	13.8	9.3

* (): Impact value of heat affected zone.

力除焼鈍を施すと低温で衝撃値を減じ、850°C × 2 h 空冷処理では約 50% 低下する。これらを Table 2 に示した実用オーステナイト・ステンレス鋼の値と比較すると、溶接のまま、焼鈍状態ともに優れている。AISI 310S の場合に溶接のままの常温衝撃値が比較的低く、焼鈍状態ではどの試験温度でも絶対値が高いことは鋼種の相異とみるよりも、むしろ溶接時の残留応力とこれに基因する再結晶組織によるものと考えられる。衝撃値の温度依存性がほとんどなく常温、低温ともに同じ衝撃値を示すことは本鋼種の特長と見做される。またこのことから組織的問題と同時に溶接条件がかなり影響すると考えられる。腐蝕試験の結果はいずれも優れた耐蝕性を示した。以上の結果から AISI 310S の C 量を極度に低下させることは、熱間割れ発生の危険を増大するのみで、耐蝕性あるいは低温衝撃値に対しては余り大きく影響しない。

IV. 結 言

オーステナイト・ステンレス鋼溶接材について低温衝撃試験を行った結果、つぎのことが明らかとなった。

- 1) 溶接熱影響の低温衝撃値は母材のそれとほとんど変わらない。
- 2) 溶着部の低温衝撃値を母材に比較して劣る。とくに低温衝撃値は応力除去焼鈍により低下する傾向にある。
- 3) 溶着部の衝撃値は溶接条件にも影響される。
- 4) オーステナイト・ステンレス鋼溶着部の低温衝撃値を向上させるには組織的にオーステナイト単相とし、Mo あるいは Cb のような脆化をとまなうものはさけ、さらに炭化物による害を最少にするため C 量をできるだけ少なくすることが望ましい。
- 5) オーステナイト単相の溶着部に生ずる熱間割れ感受性は C 量に大きく影響される。
- 6) 実用オーステナイト・ステンレス溶接棒 AISI E 310S, E304L は極低温用としても十分使用することができる。

文 献

- 1) 川畑・横田・深瀬: 鉄と鋼, 44 (1958) 3, p. 344

(75) 12% Cr 鋼のクリープ破断強さにおよぼす Mo, W, Ti, V, Nb の影響

東京大学, 工学部

工○藤田 利夫・工 笹倉 利彦
Effect of Mo, W, Ti, V and Nb on Creep-Rupture Strength of 12 % Chromium Steel.

Toshio Fujita, Toshihiko Sasakura.

I. 緒 言

著者らは数年前から 12% Cr 耐熱鋼の研究を行っているが、この耐熱鋼はわずか 1~1.5% の合金元素 (Mo, W, V, Ti, Nb, B, N など) を添加することにより地鉄中に炭化物、硼化物、窒化物などを微細に析出させて高温強度を高めている。

したがってまず 12% Cr 鋼に Mo, W, V, Ti, Nb などを単独に添加して、これらの合金元素の炭化物が 500~700°C の長時間 (5000~10000 h) 加熱によつてどのように変化するか、またこれらの炭化物がクリープ破断強

Table 1. Chemical composition of specimens.

Steel No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Other element	
S 1	0.20	0.36	0.56	0.017	0.016	0.09	11.58	Mo	1.07
S 2	0.19	0.40	0.53	0.014	0.014	0.09	11.88	W	0.76
S 3	0.20	0.44	0.54	0.017	0.016	0.08	11.79	Ti	0.35
S 4	0.20	0.44	0.53	0.005	0.018	0.08	11.85	V	0.38
S 5	0.18	0.47	0.52	0.012	0.016	0.09	11.55	Nb	0.42

さおよび長時間加熱によつて硬度組織にどのように影響するかを研究し、12% Cr 耐熱鋼中の炭化物の挙動について調べつつある。

本報は単独に合金元素を添加した 12% Cr 鋼の 550°C ~ 650°C におけるクリープ破断強さについて実験を行い、これらの合金元素が 12% Cr 鋼の高温強度に対してどのような影響があるかを調べた。

II. 試料および熱処理

試料は高周波電気炉で 40kg 熔解した。これに使用した添加元素は合金鉄 (Fe-Mo, Fe-W, Fe-V, Fe-Nb) であるが、Ti だけは金属 Ti で添加した。熔製した鋼塊は 22~23mm の角棒に鍛造し、次の熱処理を行った。

焼入処理 1150°C × 1/2 h → O.Q (油冷)

焼戻処理 650°C × 1 h → A.C (空冷)

Ti, Nb を添加した試料は 1150°C の焼入では十分固溶しないと考えられるが、他の Mo, W, V など添加したものと条件を同一にするため 1150°C から焼入を行った。試料の化学組成を Table 1 に示す。

Mo はかなり地鉄に固溶するため 1% 程度添加した。W の炭化物は Mo の炭化物より比較的凝集が早いため Mo より低くし 0.7% にした。また Ti, V, Nb は合金元素として最も適当と考えられる 0.4% 程度添加した。

III. クリープ破断試験

クリープ破断試験は Table 1 に示すごとく試料につき、550°C (25 kg/mm² ~ 45 kg/mm²), 600°C (16 kg/mm² ~ 42 kg/mm²), 650°C (8 kg/mm² ~ 15 kg/mm²) の各温度で行った。

Fig. 1 に 550°C の応力・クリープ破断線図を示す。この結果から 12% Cr 鋼に Nb を添加することが最も有効で、W の添加は最も効果が少ないことがわかる。しかし Nb を添加したものは、長時間のクリープ破断強度は低下するが、これは 1150°C の焼入温度では Nb の炭化物 (NbC) が十分に地鉄に固溶しないためか、また Nb の炭化物が比較的凝集しやすいものかについては目下研究を進めている。550°C 付近では Mo 添加のもの、V 添加のものとはあまり差異が認められないが、V 添加のものは長時間のクリープ破断強度は Mo 添加のものよ

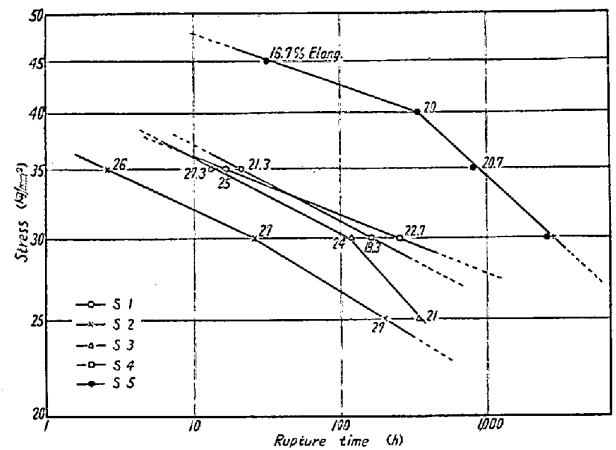


Fig. 1. Relation between stress and rupture time at 550°C.

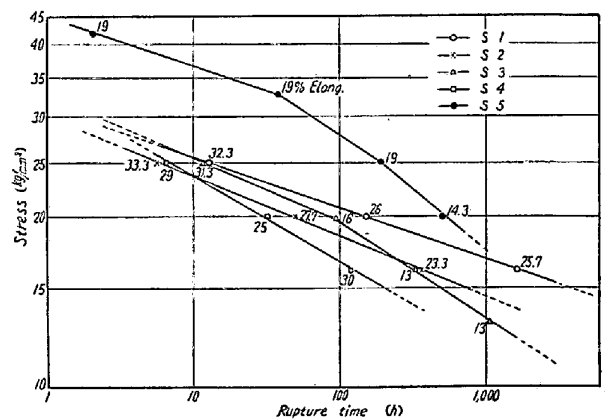


Fig. 2. Relation between stress and rupture time at 600°C.

り低下する。これは V の炭化物は 550°C 付近でもかなり凝集することを示している。

Fig. 2 に 600°C の応力・クリープ破断線図を示す。この場合は 550°C の時と同じく Nb の添加が最も有効であるが長時間のクリープ破断強度は 550°C の時よりさらにいちじるしく低下する。550°C では W 添加のものが最もクリープ破断強度は低い、600°C では V 添加のものが最も低い。

Fig. 3 に 650°C の応力・クリープ破断線図を示す。この場合も Nb 添加のものが最もすぐれているが 550°C ~ 600°C に比較して長時間のクリープ破断強度は低

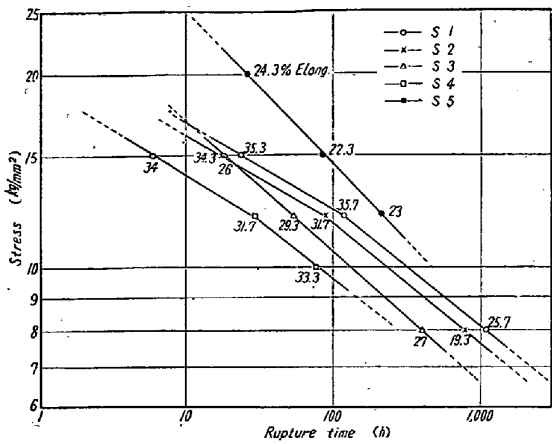


Fig. 3. Relation between stress and rupture time at 650°C.

下している。一方 Mo, W を添加したものはあまり長時間のクリープ破断強度は低下していない。

Table 2 は 550°C, 30 kg/mm², 600°C, 20 kg/mm², 650°C, 12 kg/mm² の破断結果であるが, 550°C で最も低い破断時間を示す S2(W添加したもの) を基準にして他の試料との破断時間の比率を求めたものである。これ

によると 550°C では Nb 添加のものは W 添加のものより 70 倍以上の破断時間であったものが 650°C では 2.45 倍となり非常にクリープ破断強さが低下していることがわかる。とくに V を添加したものは高温になるにしたがつていちじるしく強度が低下しているが, これは V₄C₃ が高温になるにしたがつて凝集するからである。

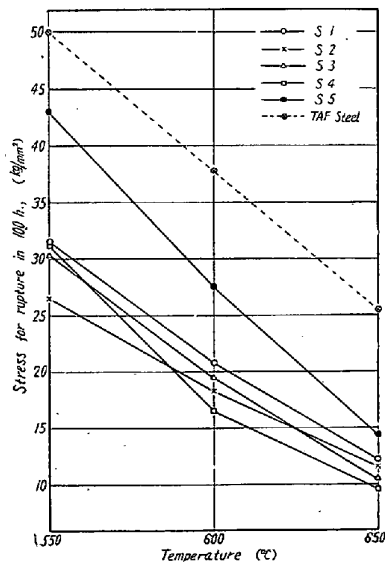


Fig. 4. Rupture strength of 12% chromium heat resisting steel.

Fig. 4 は各試料の 100 時間の破断強度を示す。図中破線で示したものは TAF 鋼の破断強度を示す。Nb を添加した S5 の 100 時間の破断強度は他の Mo, V, Nb, Ti など添加したものよりかなり高くなっているが, 合金元素を複合添加した TAF 鋼と比較すればはるかに低い。したがって 12% Cr 鋼に対してクリープ破断強度を高めるには Nb, Mo, W, V など複合添加することが有効である。

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) 12% Cr 鋼に Mo, W, Ti, V, Nb など単独に添加して 550°C ~ 650°C でクリープ破断試験を行った。

(2) 各試料は 550°C 付近では炭化物の凝集が進行し難いため時間の経過とともにクリープ破断強さの低下はそれほどいちじるしくないが, 650°C 付近になると炭化物の凝集がかなり急速に進行するために時間の経過とともにクリープ破断強さはいちじるしく低下する。

(3) 12% Cr 鋼に Nb を添加したものは 550°C ~ 650°C の 100 時間のクリープ破断強度をいちじるしく高めるが複合添加した TAF 鋼よりかなり低い点から考えて 12% Cr 鋼のクリープ破断強さの向上には合金元素の複合添加が必要である。

(4) 12% Cr 鋼の 550°C 付近のクリープ破断強度を高めるには Nb, V, Mo 添加が有効で 650°C 付近では Nb, Mo, W が有効であることがわかる。

(5) 12% Cr 鋼に Ti を添加しても 550°C ~ 650°C のクリープ破断強度の向上にはあまり有効でない。

Table 2. Creep-rupture data.

Steel No.	500°C		600°C		650°C	
	30 kg/mm ²	Ratio of rupture time to S2	20 kg/mm ²	Ratio of rupture time to S2	12 kg/mm ²	Ratio of rupture time to S2
S 1	255 h 56 mn	7.02	151 h 4 mn	3.08	117 h 27 mn	1.36
S 2	36 h 30 mn	1.00	49 h 8 mn	1.00	87 h 0 mn	1.00
S 3	119 h 0 mn	3.26	94 h 13 mn	1.93	52 h 41 mn	0.61
S 4	164 h 50 mn	4.50	31 h 41 mn	0.65	28 h 45 mn	0.33
S 5	>2550 h	>70.00	502 h 6 mn	10.20	213 h 12 mn	2.45