

向上する。非酸化性酸に対する腐食抵抗は Si を増すことによつて向上することが明かになった。

(174) 14Cr-15Ni 系オーステナイト耐熱鋼におよぼす合金元素の影響

(オーステナイト系耐熱鋼の研究—II)

東京大学工学部

○藤田 利夫・笹倉 利彦

Effect of Alloying Elements on 14Cr-15Ni Austenitic Heat-Resisting Steels.

(Studies on austenitic heat-resisting steels

—II)

Toshio FUJITA and Toshihiko SASAKURA.

I. 緒 言

第1報においては TAF 鋼に Ni を添加して完全にオーステナイト系耐熱鋼にした場合、クリープ強さがどのように変化するかを調べて報告した。本報告は 14Cr-15Ni 系オーステナイト鋼に Mo, W, Ti, Al, Nb, B などを複合添加した場合、クリープ破断強さ、時効硬度、顕微鏡組織などがどのように変化するかについて調べた結果を述べる。

II. 実 験 結 果

実験に使用した試料の化学組成を Table 1 に示す。

S11 は 14Cr-15Ni 系オーステナイト鋼を基準にして Mo 1.5%, Ti 1%, Al 1%, B 0.1% などを複合添加したものである。S12 は S11 に W を 0.6% 添加したもので、S13 は S11 に Nb を 0.5% 添加したものである。

S14 は S11 の Ti および Al 量を 2 倍にしたものである。S15~S17 は S11~S14 の試料について実験を行なった結果得られた合金元素を基準にし、これの C 量を 0.06%, 0.16%, 0.23% に変えたものである。

S18 は S15 から B を除去したものである。S19 は Ti の金属間化合物でなく、Mo, W, V, Nb, Ti などの炭化物、硼化物などを形成させたものである。

これらの試料は高周波電気炉で 20 kg 熔解し 100mm 角の金型に鑄造し、20mm の角棒に鍛造したものをクリープ試験片に使用し、時効硬度、顕微鏡組織などにはさらに 10mm の角棒に鍛造したものを使用した。

(1) クリープ破断強さ

S11~S19 につぎのごとき熱処理を行ない 650°C, (30 kg/mm² および 24 kg/mm²), 700°C (24 kg/mm² および 18 kg/mm²) でクリープ破断試験を行なった結果を Table 2 に示す。

熱処理 { 溶体化処理 1150°C × 1h → 油冷
時効処理 750°C × 20h → 空冷

Table 2 から求めた 650°C, 700°C の 100, 1000h のクリープ破断強度を Table 3 に示す。

S11 は Mo, Ti, Al, B を添加しているが、16-12-3 Mo ステンレス鋼 (316) のクリープ破断強度よりやや高い程度の強度しか得られない。S12 は S11 に W を 0.6% 添加したものであるが、クリープ破断強度はやや良くなるがあまり顕著な効果はない。S13 は S11 に Nb を 0.5% 添加したものであるが、クリープ破断強度の向上には W ほど効果がない。

S14 は S11 の Ti および Al 量を 2 倍添加したものであるが、650°C のクリープ破断強度はいちじるしく良くなるが、700°C ではほとんど効果がない。

S15 は S11~S14 にくらべて多少添加元素がことなるが、クリープ破断強度は非常にすぐれている。これは C 量が低いため (Ni, Fe)₃Ti の析出硬化が容易に行なわれるためと考える。S16, S17 は S15 の C 量を 0.16%, 0.23% にしたものであるが、C 量が多くなるにしたがつてクリープ破断強度は急激に低下する。したがつてこの種耐熱鋼すなわち Ti の析出硬化を利用するものではたとえ B が存在しても C 量をできるだけ低くすることが必要である。しかし S15 のごとくクリープ

Table 1. Chemical composition of specimens.

Steel No.	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	W	Ti	Al	Nb	B
S11	0.16	1.08	0.35	14.96	13.64	1.68	—	0.86	0.71	—	0.10
S12	0.14	1.02	0.71	14.96	13.64	1.59	0.62	0.94	0.84	—	0.10
S13	0.14	1.05	0.79	14.70	13.34	1.65	—	0.94	1.03	0.53	0.10
S14	0.14	0.98	0.77	14.77	13.64	1.68	—	1.69	1.72	—	0.10
S15	0.06	1.02	0.67	14.98	14.43	1.65	0.65	1.32	—	0.62	0.12
S16	0.16	0.94	0.52	14.78	14.25	1.65	0.71	1.54	—	0.59	0.11
S17	0.23	0.90	0.46	15.13	14.43	1.73	0.71	1.78	—	0.57	0.10
S18	0.09	1.15	0.85	15.46	13.84	1.42	0.89	1.36	—	0.52	—
S19	0.24	1.06	0.59	15.03	14.55	1.65	0.95	0.85	V 0.67	0.48	0.09

Table 2. Creep rupture data.

Steel No.	650°C				700°C			
	30 kg/mm ²		24mm/kg ²		24 kg/mm ²		18 kg/mm ²	
	Rupture time (h)	Elongation (%)	Rupture time (h)	Elongation (%)	Rupture time (h)	Elongation (%)	Rupture time (h)	Elongation (%)
S 11	3·82	41·3	55·21	42·7	3·92	46·3	139·6	46·3
S 12	7·06	47·7	110·0	48·7	7·06	50·0	194·8	39·3
S 13	4·75	50·0	72·60	48·3	5·30	57·3	150·0	46·3
S 14	161·2	36·7	2547·0	20·0	23·5	40·7	402·6	37·7
S 15	3335·7	4·7	—	—	28·9	45·3	1510·6	26·3
S 16	12·76	39·3	1014·1	24·7	—	—	324·7	36·7
S 17	9·38	46·3	130·0	45·3	—	—	236·4	76·7
S 18	6·92	47·0	—	—	—	—	531·6	37·7
S 19	9·43	39·7	576·1	34·3	—	—	324·2	40·7

Table 3. Creep rupture strength.

Steel No.	Creep rupture strength (kg/mm ²)			
	650°C		700°C	
	100 h	1000 h	100 h	1000 h
S 11	22·8	18·5	18·3	15·2
S 12	24·1	19·8	19·0	15·5
S 13	23·2	19·0	18·6	15·3
S 14	30·8	26·0	20·8	16·2
S 15	34·0	32·0	22·0	18·4
S 16	27·0	24·0	—	—
S 17	24·6	20·0	—	—
S 19	26·2	23·3	—	—

破断強度が良くなると、クリープ破断伸びがいちじるしく減少することは注意しなければならない。また S14 と S16 を比較すると C および Ti 量が大体同じで S14 は Al が 1.7% であり S16 は W 0.7% + Nb 0.6% であるが 650~700°C のクリープ破断強度に対しては Al の方が W + Nb よりやや有効である。

S18 は S15 から B をなくしたもので 650°C のクリ

ープ破断強度はいちじるしく低下するが、700°C ではそれほどでない。これから 650°C のクリープ破断強度を向上させるためには B が非常に有効であることがわかる。

S19 は Ti の添加を少なくして、その代りに V を添加し、Mo, W, Ti, V, Nb などの炭化物、硼化物などにより 650~700°C のクリープ破断強度を高めることを考えたが、あまり良い結果が得られなかつた。

(2) 時効硬度

試料 S11~S19 を 1100, 1150, 1200°C で 1h 溶体化処理を行ない、650°C, 700°C, 750°C で 1~1000h の時効処理を行なった結果の一部を Table 4 に示す。

S11, S12, S13 は各温度でほとんど時効硬化は行なわれないが、S14 のごとく、Ti および Al 量が多くなると 650~700°C ではかなり時効硬化する。とくに 650°C では時効硬化がいちじるしい。

S15 は C 量が低いため 650°C では時効硬化が顕著であるが、700~750°C ではほとんど時効硬化しない。S14

Table 4. Ageing hardness.

Ageing temp. (°C)	Solution temp. (°C)	Hardness (Hv) after 10h and 1000h with each specimen																	
		S11		S12		S13		S14		S15		S16		S17		S18		S19	
		10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h	10 h	1000 h
650	1100	175	181	173	171	181	180	235	274	194	286	182	232	188	211	—	—	210	205
	1150	196	203	185	185	186	201	206	304	198	310	186	231	180	189	151	195	187	190
	1200	173	209	170	183	167	190	182	272	170	306	189	247	182	189	—	—	194	210
700	1100	188	171	176	173	182	171	185	256	180	201	190	191	189	176	—	—	201	197
	1150	210	202	187	184	192	181	193	256	181	216	183	188	184	178	151	174	208	195
	1200	225	204	180	177	188	187	180	245	168	208	186	179	185	177	—	—	207	202
750	1100	178	172	176	163	181	170	173	168	183	197	176	173	175	163	—	—	190	172
	1150	189	175	180	182	185	175	181	180	183	184	181	176	179	161	144	181	193	177
	1200	187	169	182	174	190	180	170	165	171	180	177	155	187	161	—	—	212	186

および S15 の 700°C の 1000h の時効硬度は S14 の方がかなり高いが、クリープ破断強度は S15 の方がすぐれている。したがって時効硬度からクリープ破断強度を推定することは非常に危険であることがわかる。S16 は S15 より C 量が高いため 650°C でも時効硬化はあまり顕著でない。とくに S17 のごとく C 量が 0.23% になると 650°C でもほとんど時効硬化がおこらない。

S18 は S15 の B をなくしたものであるが 650°C でも時効硬化はまったくおこらない。したがって B は 650°C の時効硬化を促進する効果があるものと考えられる。

S19 のごとく合金元素を複合添加しても 650~750°C で時効硬化はおこらない。

III. 結 言

以上の実験結果を要約するとつぎのごとくなる。

(1) 14Cr-15Ni 系オーステナイト耐熱鋼では C 量が低いほど 650~700°C のクリープ破断強度はすぐれている。すなわち C 量は 0.06~0.08% 以下が良い。これは C 量が多いと TiC を作り、クリープ破断強度をいちじるしく向上させると考えられる Ti の金属間化合物の形成が少なくなるためである。

(2) W, Nb などの合金元素はクリープ破断強度の向上にあまり顕著な効果がない。

(3) Ti および Al 量を多くすることによりクリープ破断強度は非常によくなる。恐らく Al (2%以下) はクリープ破断強度にはあまり貢献しないが Ti を酸化物、窒化物にする作用をおさえ Ti をできるだけ多く (Ni, Fe)₃Ti として固溶体にはいらせるためである。

(4) 14Cr-15Ni 系オーステナイト耐熱鋼では 700°C 付近で時効硬化が行なわれたとしても必ずクリープ破断強度は高くなるとは限らない。したがって時効硬度からただちにクリープ破断強度を推定することは非常に危険である。

(5) 650°C 付近のクリープ破断強度および時効硬度を高めるには B が非常に有効である。

(6) 14Cr-15Ni 系オーステナイト耐熱鋼の 650~700°C のクリープ破断強度を高めるには Ti がもつとも有効であることがわかる。

(175) 15Cr-25Ni 系オーステナイト耐熱鋼におよぼす合金元素の影響 (オーステナイト系耐熱鋼の研究—Ⅲ)

東京大学工学部

藤田 利夫・○笹倉 利彦

日本鋼管水江製鉄所 田中 輝久

Effect of Alloying Elements on 15Cr-25Ni Austenitic Heat-Resisting Steels.
(Studies on austenitic heat-resisting steels—Ⅲ)

Toshio FUJITA, Toshihiko SASAKURA
and Teruhisa TANAKA.

I. 緒 言

第 2 報では 14Cr-15Ni 系オーステナイト耐熱鋼についてのべたが、本報では Ni 量を 15% から 25% にし最近発表された W545 の成分の Mo, Ti, B などを変化し、さらに W, Nb などを添加した 4 種類の試料につき時効硬度、クリープ破断強さ、顕微鏡組織などについて調べた。

II. 試 料

試料は 15 kVA の高周波電気炉で 6 kg 熔解し、これを 20mm の角棒に鍛造しクリープ破断試験に供し、さらに 10mm の角棒に鍛造し硬度測定および顕微鏡組織用の試料に使用した。

試料の化学組成を Table 1 に示す。

Table 1. Chemical composition of specimens.

Sample No.	C	Si	Mn	Ni	Cr
S21	0.07	0.92	0.96	25.33	14.50
S22	0.07	0.87	0.92	25.84	14.38
S23	0.09	0.87	1.06	24.72	14.23
S24	0.09	0.85	1.07	26.04	14.62
Sample No.	W	Mo	Ti	Nb	B
S21	—	1.40	2.88	—	0.05
S22	—	1.42	2.64	—	0.20
S23	—	2.85	1.74	—	0.23
S24	0.87	1.45	1.52	0.53	0.12

S21 は W545 の組成を目標に熔解した。S22 は W545 の B 量を 0.20% に高くしたものである。S23 は S22 の Ti を少なくし、Mo を多くしたものである。S24 は S22 の Ti を少なくし、その代り W および Nb を添加したものであり、第 2 報における S15 の Ni 量を 15% から 25% にしたものである。