

(173) 35Ni-15Cr 系ステンレス鋼の性質におよぼすCおよびSiの影響について

特殊製鋼研究所

工博 山中直道・日下邦男・○北原正信

Influence of C and Si on Properties of 35Ni-15Cr Heat-Resisting Steel.

Dr. Naomichi YAMANAKA, Kunio KUSAKA
and Masanobu KITAHARA.

I. 緒 言

35Ni-15Cr 系ステンレス鋼は過去には主として浸炭性雰囲気炉または加熱用ソルトバスなどの鍛造耐熱部品として使用されて来たが、今日では鍛造部品としてのみでなく、雰囲気炉の発達とともに鍛造、圧延または線引などの加工した板、棒および線として使用されている。この系のステンレス鋼は浸炭に対する抵抗性が大きいとともに、高温大気またはいろいろのガスによる酸化、腐食に対しても優れた性質を示す。著者らはこの系のステンレス鋼の性質を改善する目的をもって、本合金の性質におよぼすCおよびSiの影響についていろいろの実験を行なった。供試材は Table 1 に示す成分で、35 kVA 高周波誘導炉で 7 kg 鋼塊を熔製し、30 mm 粗角に鍛造して使用した。

II. 実験結果

(1) 常温機械的性質

1000°C から空冷した試片の常温引張試験を行なった結果、この範囲のC量の変化は抗張力、降伏点はほとんど変化なく、抗張力 75 kg/mm²、降伏点 35 kg/mm² 程度である。一方伸び、絞りもC量の増加によりいちじるしく減少する。Siが増加すると抗張力は多少増加するがSi量が0.32%から2.64%に増加しても抗張力は約3.5 kg/mm² 増加するにすぎない。伸び、絞りはSi量によりあまり変化しない。

(2) 高温機械的性質

1000°C から空冷した試片を 800, 900, 1000°C の各温度における高温機械的性質を調べた結果、試験温度を上げるにしたがい抗張力、降伏点はいずれも低下するが抗張力、降伏点の差が小さくなる。伸び、絞りは温度の上昇によつて増加する。C量による影響は各温度とも同様な傾向を示し、C量の増加によつて抗張力、降伏点は上昇するが、伸び、絞りは逆に減少する。Si量による影響はあまり顕著でないが、試験温度の上昇にしたがつて抗張力、降伏点を最高にするSi量は多い方に移動するようである。800°CではSi量1.0%で、900°CではSi量1.5%、1000°CになるとSi量2.0%で抗張力、降伏点は最高を示すようである。Si量の変化による伸び、絞りは各温度でSi量の増加によつて増加し、Si2.0%程度で最高となるが、あまり顕著な傾向とはいえない。

(3) 固体浸炭による浸炭性

固体浸炭剤として BaCO₃: 木炭=3:7 に混合したものをを用い、1000°C で 200 h 浸炭した場合の浸炭性について調べた結果、この系の合金は 18-8 系に比較して浸炭に対する抵抗性に優れ、表面層のC量も低い。表面から 0.25 mm の層では地鋼中のC量の低いものが浸炭C量が高く、さらに深い層では逆に地鋼中のC量の高いものが浸炭C量は低い。Si量の影響としてはSi量0.5%程度で表面から0.25 mm 層の浸炭C量は最高に達しさらにSiの増加により浸炭C量は減少する。さらに深い層ではSi量が増加すると浸炭C量も低く、Siが浸炭に対して抵抗性を向上させることが明かになった。

(4) 液体浸炭窒化による浸炭性

液体浸炭剤を用い、1000°C で 10 h 浸炭窒化を行ない、浸炭層の深さを顕微鏡により測定した結果を Fig. 1 に示す。この系の合金は 18-8 系に比較して液体浸炭に対する抵抗性が優れている。C量の増加により固体浸炭同様浸炭層はやや増加するが、Si量の増加によつて浸

Table 1. Chemical compositions of tested steels.

Steel No.	Chemical compositions %								
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Al	Cu
HTS—1	0.28	1.80	1.21	0.017	0.012	34.34	14.75	0.059	0.15
—2	0.42	1.75	1.21	0.015	0.014	34.75	14.88	0.078	0.18
—3	0.71	1.66	1.30	0.018	0.012	34.75	14.92	0.059	0.18
—4	0.53	0.32	1.19	0.013	0.011	34.54	14.87	0.050	0.20
—5	0.50	0.54	1.18	0.015	0.010	34.24	14.75	0.052	0.22
—6	0.52	1.07	1.21	0.015	0.012	34.04	14.79	0.060	0.19
—7	0.51	1.54	1.22	0.018	0.010	34.24	14.70	0.070	0.16
—8	0.45	2.12	1.23	0.017	0.011	34.20	14.70	0.082	0.15
—9	0.52	2.64	1.28	0.017	0.012	34.44	14.45	0.072	0.15

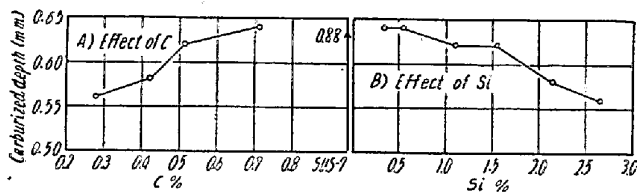


Fig. 1. Effect of C and Si on the carbonitriding (1000°C × 10h).

炭層は減少し、固体浸炭同様 Si は液体浸炭に対しても抵抗性を向上させることが明かになった。

(5) 雰囲気による腐食または酸化

A) 大気中加熱による酸化: 大気中で 1000°C × 10h の酸化試験を行ない、酸化増量を測定した結果を Fig. 2 に示す。C 量による影響はあまり顕著でないが、Si 量の増加によつて増量はいちじるしく減少する。Si が 2% 以上になると効果は顕著でなくなるが、Si は大気酸化に対していちじるしい効果のあることが明かになった。

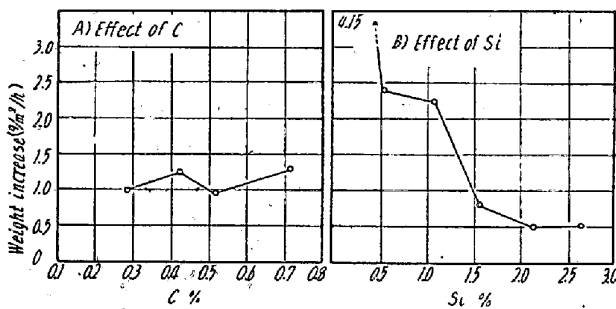


Fig. 2. Effect of C and Si on the resistance to oxidation.

B) 50°C 温水中を通じた大気中加熱による酸化: 50°C の温水中を通じた空気中で 1000°C × 6h 酸化試験を行なった結果は A) の場合と同様 C 量による影響は顕著でないが、Si 量は 0.5% までは増量は急激に減少し、0.5% で最低となり、さらに Si が増加すると増量はやや増加するが、増加量は少ない。

C) O₂ および CO₂ ガス中加熱による酸化: O₂ ガス中で 1000°C × 6h, CO₂ ガス中で 1000°C × 24h の酸化試験を行なった結果、C 量による影響はあまり顕著でない。Si による影響は大気の場合と同様 0.5% までは酸化増量は急激に減少し、0.5% で最低となるが、Si がさらに増加するとやや増量は増す。18-8 系に比較すると酸化抵抗はきわめて大きい。

D) 常温 H₂S ガスによる腐食: 常温 H₂S ガス中で 50h 腐食させた場合の腐食増量を測定した結果、C 量の増加により腐食増量はやや減少するようである。Si 量が増加すると急激に増量は減少し、Si 1.5% で最低とな

り、さらに Si が増すとやや増量は増す。この系の合金を 18-8 系に比較すると腐食増量はやや多い。

(6) 各種水溶液による腐食

A) 40% 沸騰 HNO₃ による腐食: 40% 沸騰 HNO₃ で 7h 腐食試験を行なった結果、C 量による影響は顕著でないが、Si が 1.5% までは腐食減量はやや増加し、1.5% 以上 Si が増すと急激に減量は増加し、HNO₃ に対して Si は腐食抵抗を悪化させることが明かになった。

B) 5% 沸騰 H₂SO₄ および 10, 50% 常温 H₂SO₄ による腐食: 5% 沸騰 H₂SO₄ で 7h, 10, 50% 常温 H₂SO₄ で 100h の腐食試験を行なった結果、いずれも C 量による影響は顕著でないが、Si が増加すると減量は減少し、H₂SO₄ に対して Si は腐食抵抗を向上させることを示している。

C) 5, 10% 沸騰 HCl による腐食: 5, 10% 沸騰 HCl で 6h 腐食試験を行なった結果、C 量が増加すると腐食減量はやや減少する。Si 1.5% までは減量はあまり減少しないが、1.5% 以上になると急激に減少し HCl に対して Si は腐食抵抗を向上させることを示している。

D) 10, 30% 沸騰 H₃PO₄ による腐食: 10, 30% 沸騰 H₃PO₄ で 7h 腐食試験を行なった結果、C 量による影響はあまり顕著でないが、Si は 2% 以上になると減量は減少する。

E) 10, 30% 沸騰 CH₃COOH による腐食: 10, 30% 沸騰 CH₃COOH で 7h 腐食試験を行なった結果、C 量 0.5% で減量はもつとも多い。Si 量が増加すると減量は減少するが、とくに Si 1.5% 以上でいちじるしい。

(7) 結晶粒度

1000°, 1100°, 1200°C の各温度で 5h 加熱後、結晶粒度を測定した結果、1100°C までの加熱では結晶粒の生長はわずかであるが、1200°C 加熱でいちじるしく生長し、C 量の低いものにとくにいちじるしい。Si 量による影響も C の場合と同様であるが、C の場合ほどいちじるしくない。

III. 結 言

以上 35Ni-15Cr 系ステンレス鋼の性質におよぼす C および Si の影響についていろいろの実験を行なった結果高温強度は C 量の増加によつて向上するが、加工性は悪化する。浸炭に対する抵抗性は C 量の多いものが少なく、Si を増加するといちじるしく改善される。酸化性雰囲気に対する耐酸化性は Si 量の増加によつて著しく

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