

耐熱鑄鐵に関する研究*

篠原申之*

STUDY ON HEAT-RESISTING CAST IRONS

Nobuyuki Shinohara

Synopsis:

The purpose of this investigation was to compare, on the same basis, the mechanical and high-temperature properties of various cast irons. The irons used ranged from low-Si irons, through high-Si irons, to high-Al irons, containing small amount of alloying elements, Cr, Mo, Al, Cu. Growth and scaling characteristics of those irons were studied at 900°C for 300 hours. The strength was measured by as-cast specimens and heated specimens at 900°C for 300 hours, and observations were made on changes in the microstructure.

The results obtained were as follows:

- (1) Small addition of Cr was effective in resisting to growth, but not effective in resisting to scaling and in maintenance of strength at high temperature. And it merely affected the strength after long heating at high temperature.
- (2) Mo was merely effective in resisting to growth and scaling, but remarkably effective in maintenance of strength at high temperature.
- (3) Cu was merely effective only in resisting to scaling, but it was evil to growth and mechanical properties at high temperature.
- (4) Small addition of Al increased growth and scaling, but the iron containing from 4 to 7 per cent Al considerably resist to growth and scaling.
- (5) The 5 per cent Si iron containing 4 per cent Al and 1 per cent Cr has greater resistance to scaling and growth at 900°C. The growth of this iron was almost unmeasurable and its scaling resistance at 900°C was about equivalent to that of 20 per cent Cr cast iron. And its strength not only decreased but merely increased after long heating at high temperature.

I. 緒言

過去 20 数年来耐熱鑄鐵に関する研究は数多くあり、実用的にも広い範囲にわたる種々の合金鑄鐵が知られているが、同一条件での各種鑄鐵の耐熱性相互の比較研究は殆んどなされていない。ここでは Ni 鑄鐵、高 Cr 鑄鐵を除外して普通鑄鐵、高 Si 鑄鐵、高 Al 鑄鐵の夫々に Cr, Mo, Al, Cu などを少量添加せる 22 種類の鑄鐵についてその耐熱性を比較することとした。

鑄鐵の耐熱性としては従来耐酸化性、耐成長性が主として論ぜられてきたが、高温で長時間使用することによる材質の変化に基づく強度の低下については余り研究されていないので、特にこの点に留意して高温長時間保持による強度の減衰度を比較するとともに高温引張試験、耐酸化試験、耐成長試験などを行つた結果について報告する。

II. 試験方法

(1) 供試材

基材として T.C. 3.35%, Si 1.35%, Mn 0.64%, P 0.14%, S 0.10% のキュポラー製普通鑄鐵を使用し Table 1 に示す如く少量の Cr, Mo, Al, Cu などの一種或いは数種を含有せる試料を普通鑄鐵系 7 種、高 Si 系 7 種、高 Al 系 3 種作製した、いずれも目標成分に応じて Fe-Si, Fe-Cr, Al, Cu, Fe-Mo を適当添加したが、高 Si 系では Si 量に従つてほぼ共晶点近くにまで炭素量は下つている。一般に高 Si 鑄鐵は低炭素のものが使われているので No. 20, No. 32 については別に低炭素の試料を作り、また Fe-Si の代りに Ca-Si を使つたものについても試験して Ca 処理の効果について検討した。

No. 20, No. 20-1 は "Silal,"¹⁾ No. 30 は "Cralfer,"²⁾ と称せられるものであり、その他文献に実用例の出ているものは、No. 12³⁾, No. 26⁴⁾, No. 31⁵⁾ などであるが本実験では同一条件でそれらの耐熱性を比較することとした。

* 昭和 29 年 4 月本会講演大会にて発表

** 住友機械工業株式会社

Table 1. Composition of experimental materials

Sp. No.	Group	Calculated Composition %	Analysis %					
			T.C.	Si	Cr	Mo	Al	Cu
10	Low alloying series	Plain iron	3.35	1.35	—	—	—	—
11		Al (1)	3.31	1.28	—	—	0.85	—
12		Cr (1)	3.35	1.29	0.78	—	—	—
13		Cr (1)-Mo (0.3)	3.33	1.31	0.76	0.30	—	—
14		Cr (1)-Al (1)	3.22	1.33	0.81	—	0.83	—
15		Cr (1)-Al (1)-Mo (0.3)	3.33	1.26	0.81	0.33	0.90	—
16		Cr (1)-Al (1)-Cu (1)	3.27	1.21	0.79	—	0.79	1.44
20	High Si series	Si (5)	2.97	4.88	—	—	—	—
21		Si (5)-Cr (1)	2.70	5.19	0.87	—	—	—
22		Si (5)-Mo (0.3)	2.75	5.12	—	0.31	—	—
23		Si (5)-Cr (1)-Mo (0.3)	2.75	5.38	0.88	0.33	—	—
24		Si (5)-Al (1)	2.84	4.49	—	—	1.03	—
25		Si (5)-Al (1)-Cr (1)	2.84	4.48	0.97	—	0.98	—
26		Si (5)-Cr (1)-Cu (1)	2.98	5.09	0.73	—	—	1.22
30	High Al series	Al (6)-Cr (1)	2.84	1.57	0.79	—	6.03	—
31		Al (4)-Si (5)	2.43	5.51	—	—	3.75	—
32		Al (4)-Si (5)-Cr (1)	2.45	5.91	0.98	—	4.13	—
20-1	Low carbon	Si (5)	2.07	5.28	—	—	—	—
32-1		Al (4)-Si (5)-Cr (1)	1.77	6.28	0.82	—	5.42	—
20-2	Ca treated	Si (5)	2.12	6.03	—	—	—	—
30-2		Al (6)-Cr (1)	2.45	2.69	0.77	—	6.50	—
32-2		Al (4)-Si(5)-Cr (1)	2.48	4.42	0.88	—	4.55	—

Mn 0.3~0.6%, P 0.13~0.17%, S 0.028~0.100%

試料は 10 番黒鉛坩堝で溶解し、35φ×50mm の試料 1 個、15φ×220mm の試料を 10 個いずれも乾燥砂型で鑄込んだ。

(2) 耐酸化試験と成長試験

耐酸化試験片は 35mmφ の試料から削り出した 30φ×5mm の円盤状試料を用い、成長試験片は 15mmφ 試料を黒皮のまま 100mm の長さに切断したものを使用した。耐酸化試験片は 40φ×10mm の磁製皿に載せて成長試験片とともに、扉と背面の穴で自然通風のあるエレマ炉に装入、900°C に 30 時間保持することを 10 回繰返し、毎回耐酸化試験片は化学天秤にて酸化増量を測定し、成長試験片は長さの変化を測定した。酸化増量は温度とともに急激に増加することが知られているが、材質相互の耐酸化性を明確に比較するため 900°C という比較的高い温度で試験した。高温酸化は瓦斯の組成によつて大いに異なるが、空気酸化の場合と他の瓦斯の場合とは一般に同一傾向を示すことも知られているので、材質相互の耐酸化性の比較を目的とする本実験では最も簡単な空気中での酸化試験によることとした。

(3) 機械試験

本実験において引張試験はすべて 15mmφ 試料から Fig. 1 の如き小型試験片を作製、Fig. 2 の如き特殊な

ホルダーで掴んで試験した。高温引張試験は鑄放試料についてのみ試験した。即ち Fig. 3 の如き縦型エレマ炉で試験温度に加熱、その温度に 20 分間保持した後引張った。試験温度は常温、200°C、400°C、600°C、800°C とした。

高温長時間保持による強度の減衰を比較するため、15mmφ 試料を酸化試験片、成長試験片とともに 900°C で 300 時間加熱したものから小型試験片を作製、常温で引張試験を行った。また 900°C×300h の加熱を終つた別の 15mmφ 試料について温度を測定し、顕微鏡組織を検査し、鑄放試料と比較した。

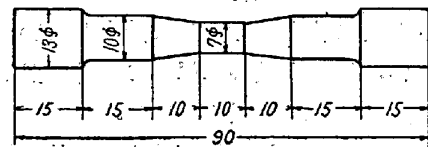


Fig. 1 Tensile test specimen

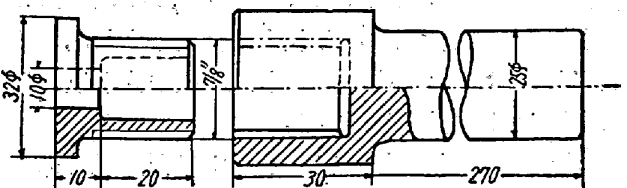


Fig. 2 Holding apparatus for the tensile test specimen.

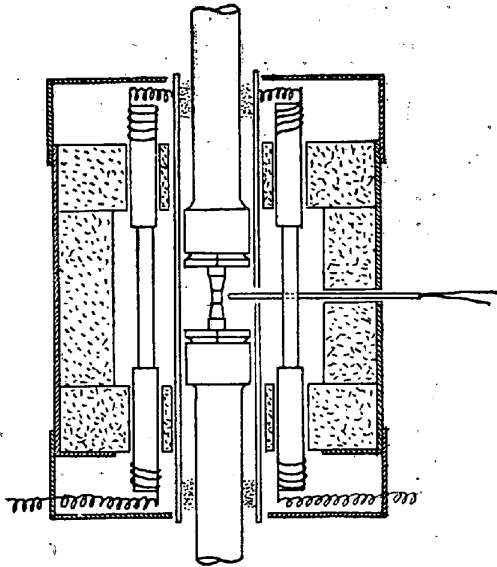


Fig. 3 Apparatus for tensile test at high temperature.

III. 結果とその考察

(1) 耐酸化性

900°Cにおける空気中での酸化試験で30時間毎に測定した単位面積当たりの重量増加を代表的なものについて図示するとFig. 4の如くなる。900°Cで300時間加熱後の酸化増量をTable 2に掲げる。22種類の鉄以外に球状黒鉛鉄 (T.C. 3.31%, Si 3.22%, Mg 0.09%), 18-8 ステンレス鋼, 高Cr鉄 (T.C. 3.14%, Si 2.71%, Cr 20.6%) について耐酸化試験を行ったところ, 900°Cで300時間後の酸化増量は球状黒鉛鉄 43mg/cm², ステンレス鋼 0.26mg/cm², 高Cr鉄 1.6mg/cm²であった。

Fig. 4の酸化増量曲線から各系列について耐酸化性を検討すると次のようである。

普通鉄系では少量のCrの添加によつて酸化量は90%に減少し, Crと併用してMo, Al, Cuなどを少量添加すると更に酸化量を僅かに減少しているが大差は認められない。但し少量のAlのみを添加すると約10%の増加を示すことは注意を要する。

高Si鉄系ではSi 5%で酸化量は普通鉄の85%に減少するにすぎないが, Cr, Mo, Cu, Alなどの1種又は数種を少量添加すると相当酸化量を減少し, 殊にNo. 25のSi-Cr-Al系では普通鉄の約半分, 5% Siの約60%に減少している。

高Al系では酸化量は著しく減少し耐熱鉄と称するに値する耐酸化性を示している。即ち, 少量のCrを含む低Si-高Al鉄 (No. 30) では普通鉄の15%, 高

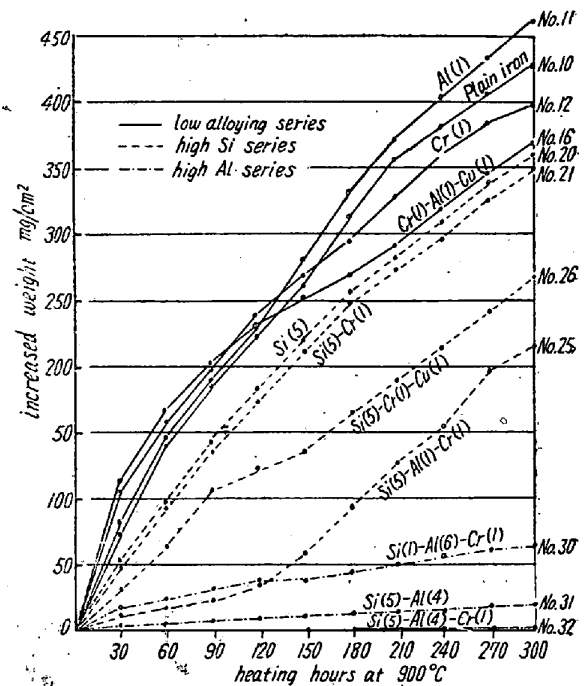


Fig. 4 Relation between increased weight and heating hours.

Si-高Al鉄 (No. 31) では約5%に減少し, 更にCrの少量を含む高Si-高Al鉄 (No. 32) は20% Cr鉄に匹敵する耐酸化性を示し, 900°Cに300時間加熱後も全く錆を発生しなかつた。

次にFig. 4の酸化増量曲線から時間と酸化増量との関係, すなわち酸化の進行速度について検討すると普通鉄系はいずれも抛物線的関係に近いようであるが, その他のものは直線的或いは時間とともに増加する傾向の見えるものもある。ガス腐蝕において緻密な反応生成物の層が保護作用をして反応速度が漸減する場合, y を単位面積当たりの重量増加, t を時間とすると $y^2 = 2kt$ なる抛物線関係で腐蝕の進行することが知られている。従つて $\log y$ と $\log t$ が直線関係ならば y と t の間に抛物線関係が成立するといえる。Fig. 4の結果を $\log y - \log t$ 線図に表わしてみると, 普通鉄系全部およびNo. 20, No. 21, No. 20-1, No. 30-2はほぼ直線関係を示し, その他はいずれも直線関係を示さなかつた。抛物線関係からの不規則な偏差を生ずる理由は厚い皮膜を造る場合は反応生成物のほうが地金よりも容積を増加し膨脹に基く内圧によつて亀裂, 部分的剥落, 膨れを生ずるためであり, また加熱温度における皮膜物質の強さ, 粘性, 地金との固着性などに関係するものである。酸化の極度に少ないもの, 即ち初期に生ずる反応生成物が比較的不安定で, 後できわめて安定なものに変化する場合は, 指数函数的関係によつて腐蝕が進行するも

のである。

スケールの発生状況を比較するため代表的な 12 種について耐酸化試験片の外観を Photo.1 に示す。高 Si-高 Al 系のもの以外は暗青色の厚いスケールを生じており、酸化のひどいもの程亀裂、膨れがひどいようである。No. 31 では灰褐色の地に青色の粒状生成物を生じ、No. 32 では灰褐色の極めて薄い膜を生成するのみでいずれもスケールなく原形をそのまま留めている。No.32-2 では剥げ落ちる鱗片状生成物を生じた。

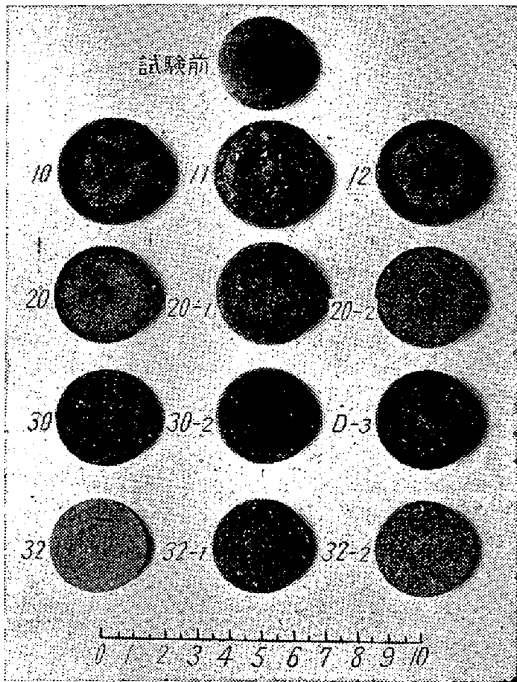


Photo. 1 Representative scaling test specimens.

さて Wagner のガス腐蝕理論によれば dry corrosion におけるスケール生成過程をも wet corrosion 同様電気化学的に解することによつて、昔考えられたように金属の dry corrosion は酸素ガスが内部に拡散していくのではなくて金属イオンが電子と共に外方に拡散してきて酸化物と酸素の界面で酸化物を形成するのであり酸化その他のガス反応速度を物理化学的なデータを用いて計算することができる。それによるとガス腐蝕に対する抵抗は反応生成物の電気伝導度と密接な関係があり電気伝導度の小さい酸化物を作る金属ほどその酸化物皮膜中の金属イオンの拡散速度が小さく耐酸化性が大きいのである。Al₂O₃, CaO, SiO₂, MgO などの電気伝導度の小さいことより、Al, Ca, Si, Mg などの添加は耐酸化性を向上すると考えられる。

各種鑄鉄の耐酸化試験の結果を総合すると次のようである。

1) Cr, Mo, Cu を少量添加しても 900°C の如き高温では耐酸化性そのものの改善には僅かの効果しかない。

2) Al の少量添加は普通鑄鉄では耐酸化性を悪くし高 Si 鑄鉄では僅かの効果を示すにすぎないが、4~7% の Al の添加は著しく耐酸化性を向上する。

3) 炭素量の低下は耐酸化性を悪くし、Mg, Ca の添加は耐酸化性をよくする。

4) 900°C の如き高温では Si 5% 程度の高 Si 鑄鉄でも耐酸化性の改善は微弱であるが、Al, Cr の少量と併用すると相当効果あり、殊に少量の Cr を含む高 Si-高 Al 系鑄鉄は全くスケールを生ぜず顕著な耐酸化性を発揮する。

(2) 耐成長性

900°C で 30 時間毎に測定した試料の長さの変化を代表的なものについて Fig. 5 に示し、900°C×30 時間の空气中加熱を 10 回繰返した後の成長率を Table 2 に掲げる。成長の進行速度は普通鑄鉄系では最初の 1~2 回が大きく其後は大体直線的に伸びており、高 Si 系高 Al 系の大部分は最初からほぼ直線的に伸びている。

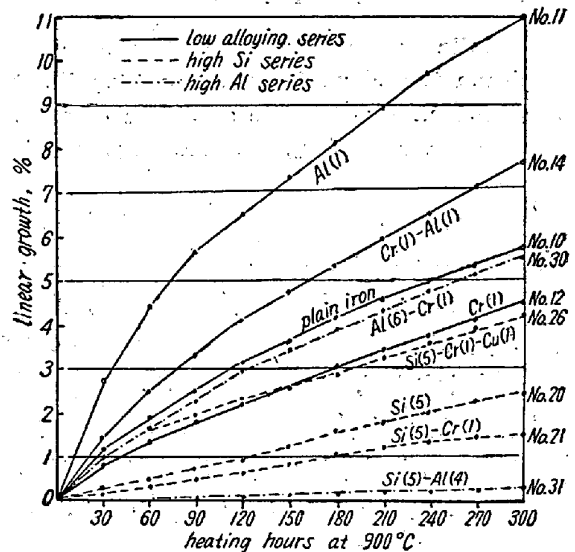


Fig. 5 Relation between growth and heating hours.

普通鑄鉄系では Cr の少量添加は成長を約 4/5 に減少し、一方少量の Al の添加は成長を著しく増加し、Al を含まない場合の 2 倍の成長率を示すことは注目すべきである。ただし Cr と併用すると Al, Cu は成長を少くする。

高 Si 鑄鉄では Si 5% で成長は普通鑄鉄の 2/5 に減少し、さらに Cr, Mo の少量を加えると成長は一層少い。少量の Al は殆んど成長に影響せず、Cu は成長

Table 2 Increased weight, growth and tensile strength.

Sp. No.	Group	Composition	Increased weight mg/cm ²	Linear growth %	Tensile strength kg/mm ²					
					σ	σ_1	σ_2	σ'	σ''	σ'''
10	Low alloying series	plain iron	427	5.7	32.5	7.8	13.9	3.3	7.1	1.7
11		Al	465	11.2	30.2	7.7	11.2	2.8	5.6	1.4
12		Cr	397	4.4	36.9	8.3	30.1	6.9	16.5	3.7
13		Cr-Mo	389	4.1	39.7	11.6	34.9	10.1	19.2	5.5
14		Cr-Al	396	7.7	34.6	9.6	23.8	6.6	12.8	3.6
15		Cr-Al-Mo	384	4.8	42.8	13.2	32.5	9.0	17.9	5.4
16	Gr-Al-Cu	364	4.0	31.7	8.5	19.5	5.3	11.2	3.0	
20	High Si series	Si	363	2.4	17.8	3.1	16.5	2.8	9.4	1.6
21		Si-Cr	345	1.5	18.4	3.4	17.3	3.1	10.4	1.8
22		Si-Mo	333	1.6	17.9	3.8	18.4	3.8	11.2	2.4
23		Si-Cr-Mo	290	1.4	18.9	4.1	19.5	4.1	12.7	2.7
24		Si-Al	315	2.4	16.3	3.4	14.2	2.8	8.9	1.8
25		Si-Al-Cr	218	1.5	17.2	5.1	18.5	5.4	13.5	4.0
26	Si-Cr-Cu	260	4.3	17.4	4.0	14.0	3.2	9.5	2.2	
30	High Al series	Al-Cr	63	2.0	32.9	10.4	30.0	9.6	27.3	8.7
31		Al-Si	20	0.2	13.5	5.3	14.2	5.4	13.9	5.3
32		Al-Si-Cr	1.6	0	14.8	7.5	16.1	8.0	16.1	8.0
20-1	Low carbon	Si	422	4.6	25.5	11.8	22.1	10.2	11.3	5.2
32-1		Al-Si-Cr	3.3	2.1	15.4	8.1	16.9	7.8	16.9	7.8
20-2	Ca treated	Si	146	1.1	25.1	4.7	23.0	5.4	18.8	4.4
30-2		Al-Cr	52	0.9	36.4	11.4	37.1	12.2	34.2	11.2
32-2		Al-Si-Cr	1.5	0	16.3	9.2	13.7	7.8	13.5	7.7

σ ; Tensile strength of as cast specimen tested at room temp., σ_1 ; Tensile strength of as cast specimen tested at 800°C., σ_2 ; Tensile strength of specimen heated for 300h at 900°C., tested at room temp., σ' ; Tensile strength of specimen heated for 300h at 900°C., tested at 800°C., σ'' ; calculated value of σ_2 , considering scale loss, σ''' ; calculated value of σ' , considering scale loss.

を増加せしめている。Si 5~6% のものに Cu 1.25%, Cr 0.5% を加えたものは Cu を含まないものより耐熱性が著しくすぐれているとの報告⁴⁾はあるが、本試験結果によると高 Si 鋳鉄への Cu の添加はスケールの発生をいくらか少くするが、成長を増加する。

高 Al 系では低 Si-高 Al 系 (No. 30) は普通鋳鉄の 1/3 に減じ、高 Si-高 Al 系 (No. 31) ではわずか 0.2% にすぎず、それに少量の Cr を含む No. 32 では成長は全然起つていない。

また低炭素のものは高炭素よりも成長が大きく、Ca 処理は成長を少くする効果が認められる。

成長試験の結果を総括すると次のようである。

- 1) Cr, Mo の少量はいずれの場合も成長を少くする効果が著しい。
- 2) Al の少量は単独では勿論、Cr と併用しても成長を増し、また Cu の添加も成長を増加する。
- 3) Ca, Mg の含有は成長を少くし、炭素を低くすると成長を増す。
- 4) 4~7% の Al の添加は著しく成長を少くし、特

に高 Si-高 Al のときは殆んど成長を起さない。900°C で 300 時間加熱後の各種材質の酸化増量、成長率の比較を Fig. 8 (a) に示す。

(3) 機械的性質

本試験では高温引張試験片の製作に便なるよう試料はすべて 15mm ϕ の型に鋳込んだため抗張力は標準試験片よりも相当高く出ている。

1) 鋳放抗張力

耐熱鋳鉄においては鋳鉄状態での強度を問題とするのは無意味なので、一般的な説明を省略し測定結果のみを σ (鋳放抗張力) として掲げておく。ただ幾らか注目すべき点としては高 Al でも低 Si のときは普通鋳鉄と大差なく、高 Si-高 Al だと普通の高 Si 鋳鉄よりもさらに低く、また Ca-処理により一般に抗張力は高くなっている。

2) 高温抗張力

試験温度と抗張力との関係を代表的なものについて Fig. 6 に、また測定結果を Table-2 に示す。鋳鉄の高温抗張力に関する従来の研究は数多くあるが、元来鋳

鉄は黒鉛その他の成分の分布および製造状況により著しく性質を異にするものであるため、その結果はまちまちのようである。本試験結果によると共通せる傾向として常温よりも 200°C, 400°C のほうが高い値を示し、多少の例外はあるが 400°C 付近で最高値を示している。

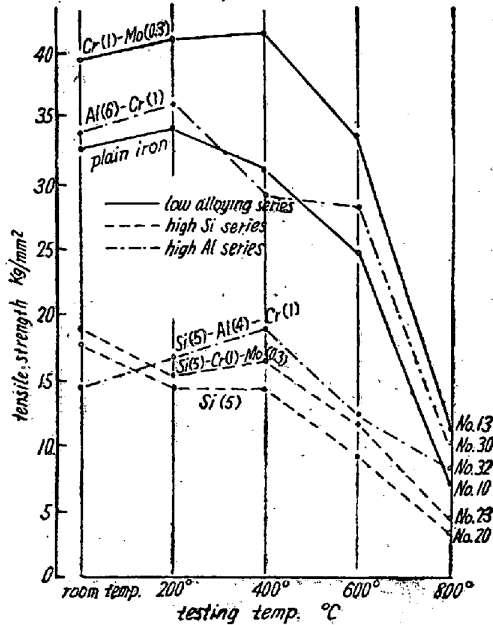


Fig. 6 Tensile strength at high temperature

Table 2 において σ を鑄放試料の常温抗張力, σ_1 を鑄放試料の 800°C における抗張力として $K_1 = \sigma_1 / \sigma \times 100$ (%) としたときの K_1 を高温抗張力の保持率と定義した。

高 Si 鑄鉄は普通鑄鉄にくらべて保持率がよいわけではなく大差ない。Cr の少量は高温強度に殆んど影響ないが、Mo は特に有効である。少量の Al は Cr と併用して有効のようであり、高 Al 系では一般に高温における強度の低下少く、特に高 Si-高 Al 系では顕著な保持率を示し、また Ca 処理も高温強度の保持に有効である。

3) 高温長時間加熱後の機械的性質の変化

耐熱材料として高温における機械的性質も考慮の必要があるが、さらに大切なことは長時間高温ガスに曝されて材質が変化せず、熱および化学的に安定であることである。従来鑄鉄の耐熱性として専ら酸化と成長のみについて議論されており、加熱後の強度の変化を調査したものは少いようである¹⁾⁹⁾。

Fig. 7 は鑄放硬度および加熱時間と硬度の変化を代表的なものについて示す。また 900°C に 30 時間加熱することを 10 回繰返した試料の常温抗張力を Table 2 に σ_2 として掲げておく。そして $K_2 = \sigma_2 / \sigma \times 100$ (%)

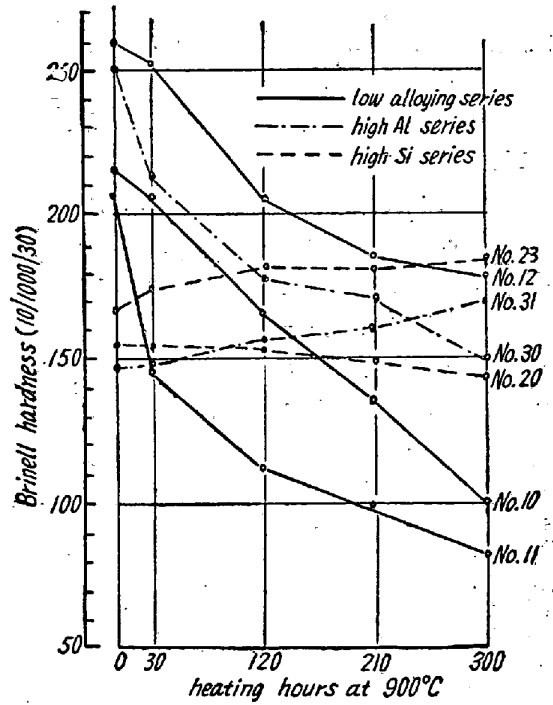


Fig. 7 Relation between Brinell hardness and heating hours.

$K_3 = H_1 / H \times 100$ (%) としたときの K_2, K_3 を 900°C に 300 時間加熱後の抗張力および硬度の保持率と定義として Table 2 に示す。但し σ は鑄放試料の常温抗張力, σ_2 を 900°C に 300 時間加熱後の常温抗張力, H は鑄放試料の硬度, H_1 は 900°C に 300 時間加熱後の硬度とする。

以上の結果から各種材質の抗張力、硬度の保持率について検討すると次のようである。

合金元素を特に含まない普通鑄鉄は鑄放の半分以下に低下し、高 Si 鑄鉄は低下が僅少である。Cu および Al の少量添加は低下を助長し、少量の Cr, Mo は普通鑄鉄系では低下を防ぐに著しい効果を示すが、高 Si 系では少量の Cr 単独では効果少く、少量の Al, Mo と併用すると鑄放よりも僅かではあるが強くなっている。高 Al 系は良好な保持率を示し、ことに高 Si-高 Al 系では鑄放よりも僅かではあるが強くなっている。

以上の測定は 16mmφ 試料を長時間加熱した後、その中心部から平行部の径 7mm の小型試験片を採取したものであるが、実際の使用状況にあつた“耐熱強度”にはスケールの発生をも考慮に入れたほうが適当と考えられる。それで仮に平行部の径 D なる試料を長時間高温ガスに曝らした場合径が D' に減少したとき $S = (D'/D)^2$ として S を“有効断面比”と定義した場合、 $\sigma'' = \sigma_2 \times S$ としたときの σ'' は加熱前の断面積で加熱後の最大荷重を割つた値に相当する。

実測は行わなかつたが各試料について計算した値を Table 2 に示し、 σ_1 , σ_2 , σ'' (計算値) の比較を Fig. 8 (b) に示す。各試料相互の σ'' を比較すると高 Si-高 Al 系は鑄放では弱い最終的にはかえつて他の材質より強いことがよくわかる。

次に高温引張試験は鑄放試料にのみについて行つたが仮に $900^\circ\text{C} \times 300$ 時間加熱後の試料を 800°C で試験したときの高温抗張力を σ' とすれば $\sigma' = \sigma \times K_1 \times K_2 = \sigma_2 \times K_1$ であり、さらにスケールの発生を考慮に入れた σ' の値を σ''' とすると $\sigma''' = \sigma' \times S$ である。Fig. 8 (c) に σ_1 (実測値), σ' (計算値), σ''' (計算値) を比較する。

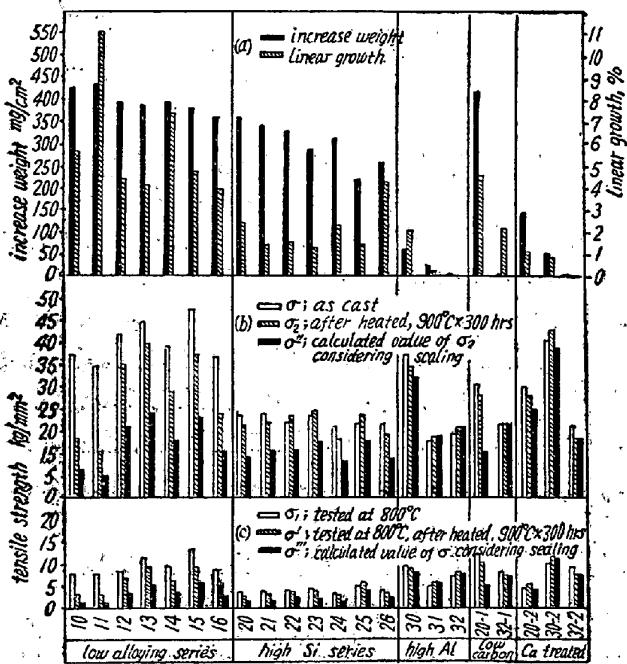


Fig. 8

4) 組織変化について

普通鑄鉄系では時間の経過とともにスケールの厚みを増し金属相は次第に細つていく、破面を腐蝕してみると金属相は肉眼的にも内外異つた相が識別される。検鏡結果によるとスケールに接した外層はフェライトと酸化物よりなる「酸化層」であり、内層は熱的な影響を主として受けたと考えられる「焼鈍層」である。例えば Photo 2 は普通鑄鉄におけるスケールと「酸化層」の境界であり Photo 3 は「酸化層」、Photo 4 は「焼鈍層」(中心部)を示す。鑄放状態では其他はパーライトであるが、加熱によつてパーライトの一部がフェライト化している。少量の Al を含む No. 11 では中心まで Photo 3 の如く酸化が進んでおり、Fig. 9 のⅣに相当し、その他はⅢの段階で内外二層よりなる。No. 12~No.

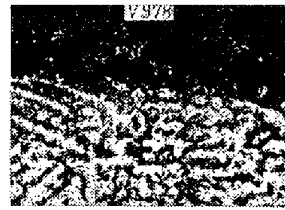


Photo. 2 ×100(1/2)

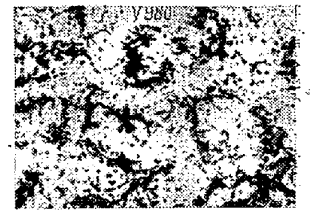


Photo. 3 ×300(1/2)



Photo. 4 ×300(1/2)

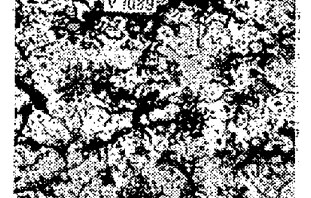


Photo. 5 ×300(1/2)

16 の内層は Cr を含有するため比較的安定で Photo. 5 の如く鑄放状態に比較してパーライトが多少粗大化し黒鉛の周辺に幾らか酸化物が集積して太くなつている程度であり、初析セメントは依然残留している。

高 Si 鑄鉄に共通せる特徴は Photo. 6 の如くスケール直下に白く輝いた「脱炭層」を形成することである。その内層は鑄放組織と殆んど変わらず、それらの境界はきはめて明瞭である。Photo. 7 は黒鉛を全く含まずフェライトの地に僅の酸化物が点在する「脱炭層」、Photo. 8 は「脱炭層」とその内層との明瞭な境界、Photo. 9 は鑄放状態と殆んど変わらない内層の組織を示す。黒鉛を全く含まない層の生因については、酸素と炭素の拡散速度の差に基くものであり、酸素の内部への拡散が遅いにもかかわらず炭素の表面への拡散が早く、その結果黒鉛片の残骸を酸化物で埋めるに十分な酸素が供給され得ないためであると考えられる⁹⁾。高 Si 鑄鉄(フェライト鑄鉄)では少量の合金元素の添加は顕微鏡組織的に殆んど影響が見られないが、炭素を低くすると Si を低くし

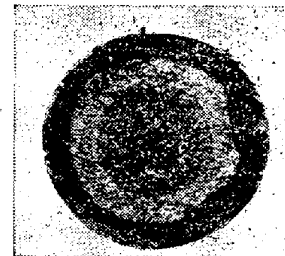


Photo. 6 ×2(1/2)

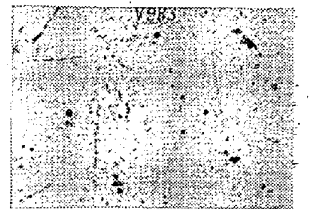


Photo. 7 ×300(1/2)

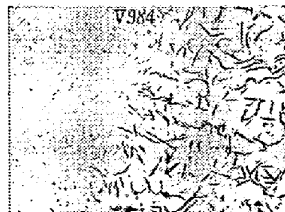


Photo. 8 ×100(1/2)



Photo. 9 ×300(1/2)

たのと同様な影響をもたらすため、鑄放で完全なフェライト鑄鉄とならず、パーライトを共存するため成長率は完全なフェライト地のものより大きくなる。

低 Si-高 Al 鑄鉄 (No. 30) の鑄放組織は基地はフェライトとパーライトよりなるが (Photo. 10), 加熱組織はフェライト地で外層 (Photo. 11) と内層 (Photo. 12) よりなり、外層は酸化がひどく黒鉛片の残骸を酸化物で埋めている。

高 Si-高 Al 鑄鉄 (No. 31) は加熱後も鑄放と変わらないフェライト地の組織 (Photo. 13) を示し、周辺も中心部も全く変化なく、スケールも全然生じない。



Photo. 10 ×300(1/2)

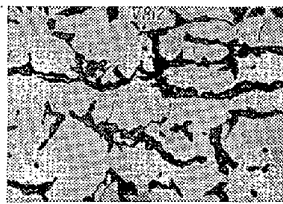


Photo. 11 ×300(1/2)



Photo. 12 ×300(1/2)



Photo. 13 ×300(1/2)

IV. 総 括

(1) 1% 前後の Cr の添加は耐酸化性には殆んど効果ないが、成長を著しく少くし、耐熱強度 (高温保持後の強度) の保持には普通鑄鉄では効果あるが、高 Si 系では単独では大した効果なく、Mo 或いは Al と併用すると耐熱強度の保持に顕著な効果がある。

(2) 少量の Mo の添加は耐酸化性、耐成長性には僅かの効果を示すにすぎないが、高温強度の保持には著しい効果を有する。

(3) 1% 前後の Cu の添加は耐酸化性を幾らか向上する程度で、その他の耐熱性はいずれも低下するので

Cu 添加は無意味である。

(4) 1% 前後の Al の添加は耐熱性を著しく悪くするが、4~7% 程度の Al を添加すると耐酸化性、耐成長性を著しく向上するとともに、耐熱強度の保持もよく特に 4~6% の Si と併用して極めて優秀な耐熱性を発揮する。

(5) 炭素を下げると機械的性質を向上するが、耐熱性は低下する。

(6) フェロシリコンの代わりにカルシウムシリサイドを添加したものは機械的性質、耐熱性ともに向上する。

各種鑄鉄を実用的に検討すると、普通鑄鉄系、高 Si 鑄鉄系ともに 900°C ではスケールがひどく耐酸化性を必要とするところには不適である。高 Si-高 Al 鑄鉄は高 Cr 鑄鉄に匹敵する耐酸化性を有し、生長もなく、鑄放強度は高 Si 鑄鉄に劣るが耐熱強度はむしろすぐれている。又低 Si-高 Al 鑄鉄は高 Si-高 Al 鑄鉄に劣るが、鑄放で普通鑄鉄程度の強度を有し、耐熱強度は他のいずれの鑄鉄よりも遙かに高い。すなわち Si 1.5~6.0%, Al 4~7% の鑄鉄は鑄造性良く、機械加工容易な優秀な耐熱鑄鉄といえる。(昭和 29 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) 英国特許第 323076 号
- 2) 英国特許第 489936 号
- 3) R. C. Turker: Foundry Trade Journal, 1940, Jun. 20, Jun. 27, Oct. 17
- 4) W. H. White & A. R. Elsea: Iron Age, 1948, Nov. 4
- 5) H. Timmerbeil: Gießerei, 1951, 38, p. 25
- 6) H. Timmerbeil & O. Mattern: Gießerei, 1951, 38, p. 523
- 7) Pfannenschmidt: Proc. Inst. Brit. Found., 1932~3
- 8) 渡辺: 日立造船技報, 1954, Vol. 15, No. 2, p. 12
- 9) M. M. Hallet: Jour. of the Iron and Steel Inst., 1952