

S-H 鑄鐵の製造法, 特性及びその工業的應用

澤 村 宏

I 緒 言

筆者は鼠鑄鐵浴を後で述べるような至極簡単な方法で酸化チタンを含む熔滓で処理した後鑄造すると、かゝる處理を施さなければ寫眞1のような粗大な片狀黒鉛組織、寫眞3のような粗大な破面を有する鼠鑄鐵鑄物が生ずる場合に、寫眞2のような極めて微細な所謂共晶黒鉛組織(米國の A. F. S—A. S. T. M. Graphite Flake Classification in Gray Cast Iron: Graphite Flake Type Chart No. D に相等する)、寫眞3のような極めて緻密な破面を有する鼠鑄鐵鑄物が得られ、これが種々の特性を有してその工業的應用範圍が狭くないことを確め、かような方法で製造した特殊の鼠鑄鐵に S-H 鑄鐵なる名稱をつけた。

以下 S-H 鑄鐵の製造法とその特性を述べ、これが如何なる種類の鑄物の製造に適するかについて説明したいと思う。

II S-H 鑄鐵の製造法

1. 實驗室的 研究

この研究にはタンマン爐を用いた。黒鉛ルツボ内に鑄鐵浴 150 g を造りその上に酸化チタンを含む造滓劑を投入してこれを熔融し更にその上に木炭粉を加え鑄鐵浴と熔滓とを一定時間接觸せしめたる後前者を直徑25mmの乾燥砂型に鑄込み、鑄造試料の組織を檢鏡して鑄鐵浴の熔解條件と鑄造條件並びにその成分* が鑄造試片の組織に如何に影響するかについて調べこれによつて S-H 鑄鐵の最適製造法を求めることにした。

造滓劑には特に斷らない限り市販酸化チタン、珪酸、炭酸カルシウム、アルミナ及びポートルンドセメントを用いた。熔滓の主成分は TiO_2 , SiO_2 , CaO , Al_2O_3 である。

鑄造組織を定量的に適確に判定することは困難であるが凡そ第1表のように區別することにした。Aが理想的組織であるが工業的應用の場合を考慮に入れてA或はBの組織を目標としてこれが見られる條件が即ち S-H 鑄鐵の最適製造條件であるとしたのである。

熔解條件及び鑄造條件に関する研究 これ等の條件について實驗を行うに當り基本的條件を次の如く定め、まずこれ等の條件のうち1條件のみを変え他の條件を上記の如く一定に定めて實驗を

熔 滓 量	: 鑄鐵浴の15%
造滓配合の鹽基度 (CaO/SiO_2)	: 1.5

* 成分の影響に関する調査は後述のように徐冷凝固した試料についても行つた。

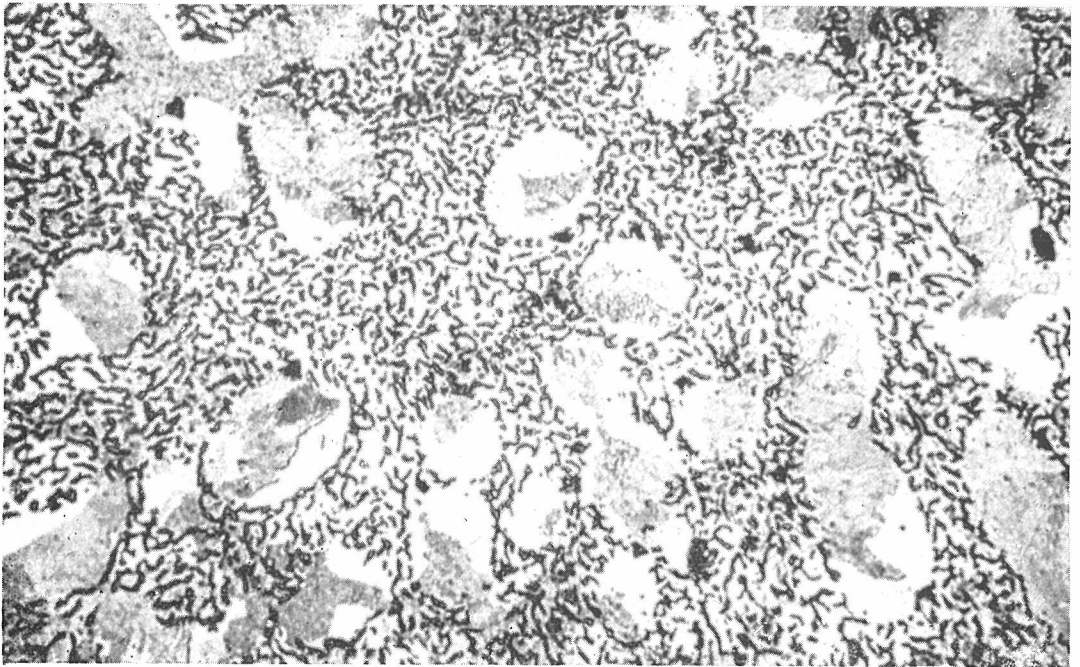
澤村論文附圖(その1)



寫眞1. 普通鼠鑄鐵の組織

×240

C=3.8% Si=1.5% Mn=0.5% P=0.2% S=0.06%

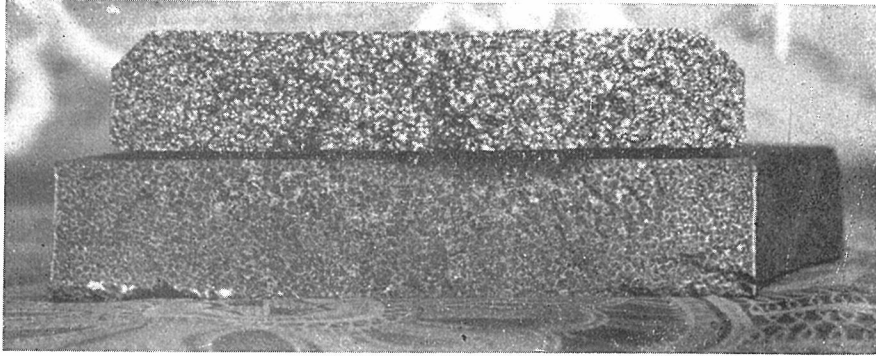


寫眞2. S-H鑄鐵の組織

×240

C=3.8% Si=1.5% Mn=0.5% P=0.2% S=0.04%

澤村論文附圖(その2)

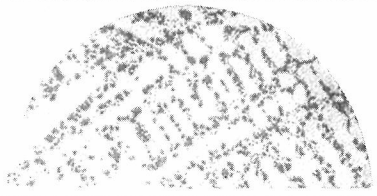
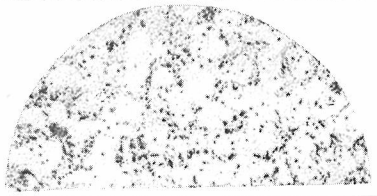
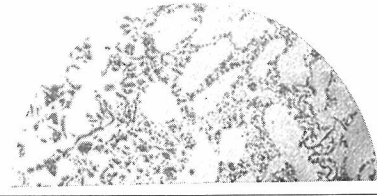



寫眞 3.

× 1/2

上: 普通鼠鑄鐵破面
下: S-H 鑄鐵破面

第 1 表

組 織		
符 號	A	B
$\frac{\text{共晶黑鉛量}}{\text{全黑鉛量}} \times 100(\%)$	100	100~90
組 織		
符 號	C	D
$\frac{\text{共晶黑鉛量}}{\text{全黑鉛量}} \times 100(\%)$	90~50	< 50

註: 顯微鏡倍率 70

造滓配合の Al_2O_3	: 10%
造滓配合の TiO_2	: 12%
鑄鐵浴と熔滓との接觸時間	: 15min
熔滓上に添加する木炭粉末量	: 熔滓量の10%
最高加熱溫度	: 1400~1450°C
鑄込溫度	: 1300°C

行い、その特定條件の影響を検討した後、上記のすべての條件の下で熔解を行い、これに他の條件を加味してその條件の影響を見ることにした。

この實驗に用いた原料は次のような成分の普通鼠鑄鐵で必要に応じてこれに珪素を添加する爲

C=2.99~3.26%	Si=1.01~1.46%	Mn=0.51~1.05%
P=0.17~0.35%	S=0.049~0.073%	

に金屬珪素を用いた。

(i) 鑄込溫度の影響

實驗結果は第2表の如くである。この結果による

第 2 表

實驗番號	鑄込溫度 (°C)	共晶黑鉛の重量割合 (%)
1	1250	A
2	"	A
3	1300	A
4	"	A
5	1350	B
6	1360	B
7	1400	C
8	1400	B
9	1400	C
10	1435	C

とこの實驗の範圍内では S-H 鑄鐵を得るのに適當な鑄込溫度は1250~1300°Cであることが知られる。

(ii) 最高加熱溫度の影響

實驗結果は第3表の如くである。この實驗結果によると本實驗の範圍内では最高加熱溫度は1360~1450°Cが適當である。加熱溫度が1450°C以上になると結果が不揃となる。

(iii) 鑄滓の鹽基度の影響

こゝに云う鹽基度とは鑄滓中の石炭量に對する珪酸量の比 CaO/SiO_2 のことである。本實驗は珪素含有量が低い鑄鐵原料に金屬珪素を鑄鐵浴の珪素が約2%となるように添加して熔解を行った。實驗結果は第4表の如くである。この結果によると處理後、鑄滓成分は配合成分と僅かに

第 3 表

實驗番號	最高加熱溫度 (°C)	共晶黑鉛の重量割合 (%)
11	1300	C
12	1300	C
13	1350	A
14	1350	A
15	1400	A
16	1405	A
17	1450	A
18	1450	A
19	1500	B
20	1500	C
21	1500	A
22	1500	A
23	1530	B
24	1530	A
25	1530	A
26	1550	C

第 4 表

実験番號	鑛滓の鹽基度(CaO/SiO ₂)		共晶黒鉛の重量割合 (%)
	配 合	分析値	
27	0.3	0.28	D
28	//	0.27	D
29	0.5	0.45	A
30	//	0.44	A
31	1	1.09	A
32	//	0.91	A
33	1.5	1.40	A
34	//	1.38	A
35	//	1.40	A
36	//	1.35	A
37	2	1.63	A
38	//	1.49	A
39	2.5	2.34	A
40	//	2.26	A

結果によると本実験の範囲内では熔滓量が鑄鐵浴の15~20%であると全部共晶黒鉛組織の鑄物が得られるが15%以下であると好結果が得られないことが知られる。

(v) 熔滓の酸化チタン含有量と鑄鐵浴、熔滓の接觸時間との關係

実験結果は第6表の如くである。この結果によるとS-H鑄鐵を得るのに必要な鑄鐵浴と熔滓の

第 6 表

実験番號	鑛滓のTiO ₂ (%)		鑄鐵浴と熔滓の接觸時間 (min)	共晶黒鉛の重量割合 (%)
	配 合	分析値		
49	4	4.30	5	D
50	4	4.44	15	D
51	4	4.40	30	C
52	4	3.56	45	C
53	4	3.59	60	C
54	8	7.94	5	D
55	8	7.82	10	C
56	8	7.76	15	C
57	8	7.48	30	C
58	8	7.44	45	A
59	10	10.83	5	D
60	10	10.40	10	D
61	10	10.93	15	B
62	10	9.14	30	A
63	10	8.91	45	A

變化しているに過ぎない。

本実験の範囲内では鹽基度が約0.4以下の鑛滓を用いたのでは成績不良で0.4~2.3の鹽基度の鑛滓を用うれば常に全部共晶黒鉛の組織が得られることが知られる。

(iv) 鑄鐵浴に對する熔滓量の影響

実験結果は第5表の如くである。この

第 5 表

実験番號	熔滓量 (鑄鐵浴に對する%)	共晶黒鉛の重量割合 (%)
41	5	B
42	//	C
43	10	A
44	//	B
45	15	A
46	//	A
47	20	A
48	//	A

接觸時間は鑛滓の酸化チタン配合量が多くなる程短縮されこれが12%になるときは10~15minで十分であることが知られる。

(vi) 造滓材料の影響

今迄述べた実験では造滓材料としてすべて前に述べたように市販酸化チタン、ポートルランドセメント、炭酸カルシウム、珪酸及びアルミナを用いたが本研究の結果を實地に應用する場合を考慮して酸化チタン造滓劑としてイルメナイト及び酸化チタンを含む鑛滓を用い果して今迄

実験番號	鑛滓のTiO ₂ (%)		鑄鐵浴と熔滓の接觸時間 (min)	共晶黒鉛の重量割合 (%)
	配 合	分 析 値		
64	12	11.50	5	D
65	12	11.57	10	B
66	12	11.61	15	A
67	12	11.26	30	A
68	14	13.88	5	D
69	14	13.62	10	B
70	14	12.99	15	A
71	14	12.33	30	A
72	14	11.61	45	A

用いた造滓劑と同様の結果が得られるかどうかについて実験を行うことにした。

本実験に用いたイルメナイト及び酸化チタンを含む鑛滓の成分は第7表の如くである。

第7表中酸化チタンを含む鑛滓は日曹製鋼株式会社富山製鋼所において砂鐵團鑛を原料にして開放式低爐型電氣爐で低磷鉄

第 7 表

造滓劑種類	TiO ₂ (%)	SiO ₂ (%)	CaO (%)	MgO (%)	MnO (%)	FeO (%)	T.Fe (%)	P (%)	その他 (%)	備 考
イルメナイト	33.24	3.32	0.31	5.12	0.22	-	43.72	-	14.08	市 販 日曹製鋼會社 富山製鋼所産
鑛 滓	24.56	26.52	23.81	-	1.00	8.54	-	0.030	15.54	

の原料鉄を製鍊するとき生ずるもので同製鋼所では現在その利用の途なくこれを低廉價で求めることができる。

上記の酸化チタン造滓劑にポルトランドセメント、市販珪砂及びアルミナを鑛滓配合で TiO₂ = 12%, CaO/SiO₂ = 1.5, Al₂O₃ = 10% になるように添加混合して造滓することとした。

実験結果は第8表の如くである。この結果によると本実験の範囲内では酸化チタン造滓劑としてイルメナイト或は含酸化チタン鑛滓を用うるも適當なる熔解條件の下で熔滓處理を行えば殆んど全部共晶黒鉛より成る鑄鐵が得られることが知られる。

第 8 表

実験番號	酸化チタン原造滓劑種類	共晶黒鉛の重量割合 (%)
73	イルメナイト	B
74	〃	A
75	〃	B
76	〃	A
77	含酸化チタン鑛滓	A
78	〃	B
79	〃	A
80	〃	B

第 9 表

実験番號	木炭粉末添加量 (熔滓に對する重量 %)	共晶黒鉛の重量割合 (%)
81	0	A
82	0	A
83	0	B
84	0	B
85	5	A
86	5	A
87	10	A
88	10	A
89	50	A
90	50	A

(vii) 熔滓表面に添加する炭素粉末の影響

今迄行つた實驗はすべて熔滓を還元性に保つ爲に鑄鐵浴を熔滓で處理するとき熔滓表面に熔滓に對し10%の木炭粉末を添加したが本實驗においては果してかような方法がS-H 鑄鐵を得るのに絶對的に必要であるかどうかについて確めることにした。

本實驗には大き-65~100目篩の木炭粉末を用いた。實驗結果は第9表の如くである。この結果によると本實驗の範囲内では全部共晶黒鉛組織を有する鑄鐵鑄物を得るには必ずしも熔滓表面に炭素を添加する必要がないことが知られる。これはタンマン爐内が可成り強い還元性雰囲気である爲であると考えられ爐内の雰囲気如何によつては常に上記と同様の結果が得られるかは疑問である。

(viii) 鑄滓處理後鑄鐵浴の攪拌の影響

今迄述べた實驗においてはすべて鑄鐵浴を鑄滓で處理する場合、單にタンマン爐内で鑄鐵浴と熔滓とを靜かに所要時間接觸せしむるに過ぎず處理後、直ちに黒鉛坩堝を爐上に置き浴温が目標の鑄込温度に降下するを待つて鑄型に鑄込を行つたのである。本實驗においては上記の方法に鑄鐵浴を熔滓で處理したる後、更に爐内において炭素棒で坩堝内を1min間激しく攪拌する操作を加味しこれが結果に如何に影響するかについて確むることにした。實驗結果は第10表の如くである。

第 10 表

實驗番號	攪拌操作	共晶黒鉛の重量割合 (%)
90-1	無	A
//-2	//	A
//-3	有	A
//-4	//	A

この實驗結果によると本實驗の範囲内での攪拌操作は何等鑄物の黒鉛組織に影響を與えないことが知られる。

(ix) 結 論

以上本實驗の範囲内における實驗結果から次のことが知られる。

(1) 市販の酸化チタンを造滓劑として用いた場合、全部共晶黒鉛の組織を有する鑄鐵鑄物を得るに必要な滓解條件は次の如くである。

- (a) 鑄鐵浴の最高加熱温度は1350~1450°Cが適當である。
- (b) 熔滓處理後、鑄鐵浴の鑄込温度は1250~1300°Cが適當である。
- (c) 處理用鑄滓の鹽基度 (CaO/SiO₂) は2.5以下では約0.4以上であればよい。
- (d) 鑄鐵浴に對する熔滓量割合は15%以上が適當である。
- (e) 鑄鐵浴と熔滓との接觸時間は熔滓中の酸化チタン含有量に關係しこれが 高い程短時間でよい。これが約4%では60min以上を必要とするが約12%では15minで足りる。

(2) 造滓劑としてイルメナイト或は含酸化チタン鑄滓を用いるも市販酸化チタンを用いた場合と同様の滓解條件の下で好結果が得られる。

(3) 本實驗の條件の下では熔滓を還元性ならしめる爲に特に炭素粉末を添加する必要が認められなかつた。但しこれはタンマン爐内雰囲気可成り強い還元性である爲であると考えられる。

(4) 鑄鐵浴を鍍滓で處理した後これを1min間激しく攪拌しても攪拌しない場合と同様の好結果が得られた。

成分の影響に関する研究 この實驗では種々の特殊元素を含有せる鑄鐵浴を前の實驗によつて求めたS-H鑄鐵を得るのに最も適當な熔解條件並びに鑄造條件(結局前記の基本條件に等しい)の下で處理した後これを前述のように乾燥砂型に鑄込むと共に一方熔滓と鑄鐵浴を黒鉛ルツボに入れた儘1000°Cに豫熱せる電氣爐の内に入れてこれを徐冷凝固せしめ鑄鐵浴の成分と同時にその凝固速度が凝固後の組織に如何に影響するかについて調べた。

鑄鐵浴を直徑25mmの乾燥砂型に鑄込んだ場合と上記のように徐冷した場合の冷却速度は第11表の如くである。

第 11 表

	砂型鑄込の場合	徐冷の場合
凝固開始温度迄の平均冷却速度	3.7°C/sec	0.50°C/sec
1100~1000°C間の平均冷却速度	2.0 "	0.15 "

この實驗には兼二浦低磷鉄、日曹製鋼低磷鉄、アームコ鐵等の不純物含有量の低い鐵原料を選んだことは

云うまでもない。従つて或特殊元素の影響を調べる目的で製作した鑄鐵試料の炭素、珪素及びその特殊元素以外の不純物含有量は極めて低いことに注意して置く。

(i) 炭素の影響

鑄鐵浴中の珪素を約1.6%と一定とし炭素を2.6~4.0%に變化せしめたる場合の實驗結果を第12表に示す、

第 12 表

實驗番號	冷却條件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分(%)			共晶黒鉛の重量割合(%)
		T. C	Si	Ti	
91	砂型鑄造	3.98	1.58	0.33	B
92	"	3.93	1.53	0.29	B
93	"	3.56	1.57	0.23	A
94	"	3.53	1.61	0.25	A
95	"	3.10	1.60	0.15	A
96	"	2.90	1.65	0.13	A
97	"	2.73	1.65	0.13	B
98	"	2.65	1.59	0.10	B
99	坩堝共に徐冷	3.97	1.65	0.30	B
100	"	3.94	1.62	0.28	B
101	"	3.88	1.62	0.27	A
102	"	3.81	1.64	0.25	A
103	"	3.37	1.65	0.23	A
104	"	3.11	1.60	0.18	A
105	"	2.91	1.65	0.17	A
106	"	2.74	1.55	0.12	B

この結果によると試料の炭素含有量の如何に拘らず鑄鐵浴を砂型に鑄込んだ場合でも又徐冷し

た場合でも常に好結果が得られた。尙この試料の製作には兼二浦低磷鉄，アーム鉄及び金屬珪素が使用されたのであつてその炭素及び珪素以外の不純物の含有量が特に低かつたが爲にかような結果が得られたのではないかと考えられる。

(ii) 珪素の影響

実験の結果は第13表の如くである。表中ゴシック数字は配合成分を示す。以下の表においても同様であることを断つて置く。

第 13 表

実験番號	冷却條件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分(%)			共晶黒鉛の重量割合(%)
		T. C	Si	Ti	
108	砂型鑄造	3.38	2.34	0.14	A
109	"	3.4	2.5	-	A
110	"	3.60	1.77	0.22	A
111	"	3.4	2.0	-	A
112	"	3.64	1.27	0.12	B
113	"	3.4	1.5	-	B
114	坩堝共に徐冷	3.29	2.29	0.13	C
115	"	3.4	2.5	-	D
116	"	3.45	1.66	0.18	D
117	"	3.4	2.0	-	D
118	"	3.61	1.25	0.14	D
119	"	3.4	1.5	-	D

(iii) 滿俺の影響

実験の結果は第14表の如くである。

第 14 表

実験番號	冷却條件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分(%)				共晶黒鉛の重量割合(%)
		T. C	Si	Ti	Mn	
120	砂型鑄造	3.30	1.61	0.03	1.36	B
121	"	3.4	1.7	-	1.5	B
122	"	3.38	1.40	0.11	1.08	A
123	"	3.4	1.7	-	1.0	A
124	"	3.38	1.50	0.12	0.59	A
125	"	3.4	1.7	-	0.5	A
126	"	3.46	1.52	0.19	0.18	A
127	"	3.4	1.7	-	0.2	A
128	坩堝共に徐冷	3.35	1.62	0.07	1.34	D
129	"	3.4	1.7	-	1.5	D
130	"	3.24	1.43	0.06	1.09	D
131	"	3.4	1.7	-	1.0	D
132	"	3.41	1.56	0.07	0.61	C
133	"	3.4	1.7	-	0.5	C
134	"	3.26	1.45	0.08	0.23	D
135	"	3.4	1.7	-	0.2	D

(iv) 磷 の 影 響

實驗結果は第15表の如くである。

第 15 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黑鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	P	
136	砂 型 鑄 造	2.97	1.70	0.05	0.751	B
137	//	2.9	1.7	-	0.8	B
138	//	2.88	1.69	0.08	0.459	B
139	//	2.9	1.7	-	0.5	B
140	//	2.94	1.68	0.13	0.251	B
141	//	2.9	1.7	-	0.25	B
142	//	3.05	1.45	0.09	0.014	A
143	//	2.9	1.7	-	0.02	A
144	坩堝共に徐冷	2.88	1.65	0.07	0.774	D
145	//	2.9	1.7	-	0.8	D
146	//	2.85	1.71	0.09	0.512	D
147	//	2.9	1.7	-	0.5	D
148	//	2.74	1.67	0.11	0.272	D
149	//	2.9	1.7	-	0.25	D
150	//	2.95	1.67	0.09	0.013	C
151	//	2.9	1.7	-	0.02	C

(v) 硫 黄 の 影 響

實驗結果は第16表の如くである。

第 16 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黑鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	S	
152	砂 型 鑄 造	2.83	1.55	0.02	0.230	D
153	//	2.9	1.7	-	0.25	C
154	//	2.93	1.49	0.08	0.154	C
155	//	2.93	1.46	0.10	0.110	B
156	//	2.9	1.7	-	0.1	B
157	//	2.99	1.42	0.11	0.046	A
158	//	3.05	1.45	0.09	0.054	A
159	坩堝共に徐冷	3.03	1.56	0.02	0.225	D
160	//	2.9	1.7	-	0.25	D
161	//	2.9	1.7	-	0.15	D
162	//	2.88	1.53	0.10	0.138	D
163	//	2.82	1.41	0.07	0.130	D
164	//	2.9	1.7	-	0.1	D
165	//	2.95	1.67	0.09	0.045	C
166	//	2.9	1.7	-	0.05	C

(vi) 銅 の 影 響

實驗結果は第17表の如くである。

第 17 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Cu	
167	砂 型 鑄 造	2.84	1.57	0.03	1.86	A
168	〃	2.9	1.7	-	2.0	A
169	〃	3.27	1.51	0.21	1.19	A
170	〃	2.9	1.7	-	1.0	B
171	〃	3.00	1.48	0.11	0.64	A
172	〃	2.9	1.7	-	0.5	B
173	〃	3.05	1.45	0.09	痕跡	A
174	〃	2.9	1.7	-	痕跡	A
175	坩堝共に徐冷	2.80	1.66	0.05	1.85	C
176	〃	2.9	1.7	-	2.0	C
177	〃	3.08	1.49	0.05	1.29	D
178	〃	2.9	1.7	-	1.0	D
179	〃	2.78	1.42	0.07	0.59	D
180	〃	2.9	1.7	-	0.5	D
181	〃	2.95	1.64	0.09	痕跡	C
182	〃	2.9	1.7	-	痕跡	C

(vii) ニツケルの影響

實驗結果は第18表の如くである。

第 18 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Ni	
183	砂 型 鑄 造	3.09	1.68	0.08	1.97	A
184	〃	2.9	1.7	-	2.0	A
185	〃	3.18	1.66	0.16	0.89	A
186	〃	2.9	1.7	-	1.0	A
187	坩堝共に徐冷	2.88	1.73	0.07	2.06	B
188	〃	2.9	1.7	-	2.	A
189	〃	3.57	1.62	0.22	1.00	A
190	〃	2.9	1.7	-	1.	B

(viii) クロムの影響

實驗結果は第19表の如くである。

第 19 表

実験番号	冷却条件	処理後の鑄鐵試料中の化学成分 (%)				共晶黒鉛の重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Cr	
191	砂型鑄造	3.27	1.57	0.12	0.46	D
192	〃	2.9	1.7	-	0.48	D
193	〃	2.89	1.54	0.05	0.24	B
194	〃	2.9	1.7	-	0.25	B
195	坩堝共に徐冷	2.85	1.53	0.07	0.47	D
196	〃	2.9	1.7	-	0.5	C
197	〃	2.78	1.63	0.05	0.24	C
198	〃	2.9	1.7	-	0.25	D

(ix) モリブデンの影響

実験結果は第20表の如くである。

第 20 表

実験番号	冷却条件	処理後の鑄鐵試料中の化学成分 (%)				共晶黒鉛の重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Mo	
199	砂型鑄造	2.91	1.60	0.04	1.03	B
200	〃	2.9	1.7	-	1.0	A
201	〃	3.16	1.64	0.12	0.54	A
202	〃	2.9	1.7	-	0.5	A
203	坩堝共に徐冷	2.91	1.65	0.05	1.07	C
204	〃	2.9	1.7	-	1.0	C
205	〃	2.81	1.71	0.05	0.56	C
206	〃	2.9	1.7	-	1.0	D

(x) タングステンの影響

実験結果は第21表の如くである。

第 21 表

実験結果	冷却条件	処理後の鑄鐵試料中の化学成分 (%)				共晶黒鉛の重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	W	
207	砂型鑄造	2.97	1.63	0.03	0.95	A
208	〃	2.9	1.7	-	1.0	A
209	〃	2.96	1.68	0.03	0.44	A
210	〃	2.9	1.7	-	0.5	A
211	坩堝共に徐冷	2.97	1.61	0.05	0.83	B
212	〃	2.9	1.7	-	1.0	B
213	〃	3.01	1.60	0.09	0.39	B
214	〃	2.9	1.7	-	0.5	B

(xi) 錫 の 影 響

實驗結果は第22表の如くである。

第 22 表

實驗結果	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Sn	
215	砂 型 鑄 造	2.98	1.60	0.04	0.82	B
216	〃	2.9	1.7	—	1.0	A
217	〃	3.23	1.53	0.22	0.37	A
218	〃	2.9	1.7	—	0.50	A
219	坩堝共に徐冷	3.21	1.62	0.18	0.86	C
220	〃	2.9	1.7	—	1.0	B
221	〃	2.95	1.77	0.08	0.43	B
222	〃	2.9	1.7	—	0.5	C

(xii) アルミニウムの影響

實驗結果は第23表の如くである。

第 23 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Al	
223	砂 型 鑄 造	3.05	1.85	0.02	2.18	C
224	〃	2.9	1.7	—	4.0	C
225	〃	2.96	1.82	0.02	1.38	B
226	〃	2.9	1.7	—	2.0	B
227	坩堝共に徐冷	2.83	1.71	0.02	2.60	D
228	〃	2.9	1.7	—	4.0	D
229	〃	2.71	1.78	0.02	1.61	D
230	〃	2.9	1.7	—	2.0	D

(xiii) コバルトの影響

實驗結果は第24表の如くである。

第 24 表

實驗番號	冷 却 條 件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の 重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	Co	
231	砂 型 鑄 造	3.36	1.60	0.05	2.02	A
232	〃	2.9	1.7	—	2.0	A
233	〃	3.18	1.64	0.05	0.99	A
234	〃	2.9	1.7	—	1.0	A
235	坩堝共に徐冷	3.27	1.61	0.04	1.96	C
236	〃	2.9	1.7	—	2.0	C
237	〃	3.71	1.51	0.30	1.07	A
238	〃	2.9	1.7	—	1.0	A

(xiv) ヴナデウムの影響

實驗結果は第25表の如くである、

第 25 表

實驗番號	冷却條件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	V	
239	砂型鑄造	2.9	1.7	-	0.5	白 銑
240	"	2.9	1.7	-	0.5	"
241	"	2.9	1.7	-	0.3	殆ど白銑, 微量の微小黒鉛あり
242	"	2.9	1.7	-	0.3	"
243	"	2.93	1.66	0.04	0.150	A
244	"	2.9	1.7	-	0.154	A
245	"	3.04	1.67	0.08	0.087	A
246	"	2.9	1.7	-	0.077	A
247	坩堝共に徐冷	2.9	1.7	-	0.5	殆ど白銑, 微量の微小黒鉛あり
248	"	2.9	1.7	-	0.5	"
249	"	2.52	1.60	0.01	0.323	A
250	"	2.9	1.7	-	0.5	B
251	"	2.70	1.51	0.04	0.150	B
252	"	2.9	1.7	-	0.150	B
253	"	2.78	1.67	0.04	0.083	C
254	"	2.9	1.7	-	0.077	C

(xv) 砒素の影響

實驗結果は第26表の如くである、

第 26 表

實驗番號	冷却條件	處理後の鑄鐵試料中の化學成分 (%)				共晶黒鉛の重量割合 (%)
		T. C	Si	Ti	As	
255	砂型鑄造	2.80	1.61	0.03	1.90	B
256	"	2.9	1.7	-	2.0	B
257	"	2.95	1.62	0.05	1.01	A
258	"	2.9	1.7	-	1.0	A
259	"	2.82	1.63	0.02	0.36	A
260	"	2.9	1.7	-	0.5	B
261	坩堝共に徐冷	2.75	1.51	0.06	1.85	D
262	"	2.9	1.7	-	2.0	D
263	"	3.08	1.56	0.13	0.84	C
264	"	2.9	1.7	-	1.0	B
265	"	2.60	1.59	0.03	0.41	D
266	"	2.9	1.7	-	0.5	D

以上の結果を見るにS-H鑄鐵の製造に最も有益なる元素はニツケルとタングステンであり、極めて有害な元素は硫黄とアルミニウムとクロムである。鑄鐵浴にニツケルが1~2%, タングステンが0.4~1.0%含有されているとこれを砂型に鑄込んだ場合には勿論、徐冷した場合でも完全な、或

は完全に近い共晶黒鉛組織が得られる。又硫黄が約0.12%以上、アルミニウムが約1.5%以上、クロムが約0.3%以上含有されていると徐冷した場合には勿論、砂型に鑄込んだ場合でも完全に近い共晶黒鉛組織も得られ難い。

珪素、満俺、磷、銅、モリブデン、錳、コバルト及び砒素の影響は大同小異であつてこれ等の元素を含む鑄鐵浴を砂型に鑄込んだ場合においてのみS-H鑄鐵が得られるのであつて、徐冷した場合には不良な結果を生ずる。バナデウムはこれ等の元素より稍良好な影響を表わすようである。

尙普通の鼠鑄鐵鑄物に含まれている炭素と不純物が普通の程度に含有されておればその量に變動があつてもS-H鑄鐵を製造する上に何等の害にならないことが知られるのであつて、この點はS-H鑄鐵鑄物を工業的に製造する場合に特に好都合であると考えられる。

2. 工業的研究

云う迄もなく前項で述べた実験室的研究の結果はその実験条件の範囲内でのものであつてS-H鑄鐵を工業的規模の下に製造するには前項の実験結果に基づき更に工場の設備に應じて工業的製造の方法を研究しなければならない。

株式會社神戸鑄鐵所ではまずマグネシヤ内塗の2t容量鹽基性エルー型電氣爐を用いてこの研究を行つた。熔解はキヌボラとの2段法或は電氣爐のみによる單獨熔解法を採用した。造滓剤にはイルメナイト或は酸化チタンを含む鑄滓、石灰及び珪砂を、還元剤に粉コークスを用い、かゝる容量の電氣爐であれば次の条件の下に操業を行えば常にS-H鑄鐵鑄物を製造することができることを確認した、

熔 解 温 度	: 1400~1450°C
熔滓の酸化チタン含有量 (TiO%として)	: > 10%
熔滓の CaO/SiO ₂	: > 0.5
熔 滓 量	: 鑄鐵浴の約5~7%
鑄鐵浴と熔滓との接觸時間	: 25~30min
鑄 込 温 度	: 1300°C

出湯の判定は簡單であつて鑄鐵浴を生砂型に鑄込み、鑄造試料の破面を肉眼で觀察して破面の色がドス黒く、破面に網目模様が見られるればその時であると考えてよい。

普通の鑄鐵を熔解する場合に比べて爐床が侵蝕される程度が稍大である。これは爐内に酸化チタンを多量含有する流動性が極めてよい熔滓が生ずるが爲である。電極及び電力消費量も若干嵩むのは止むを得ない。鑄滓原單位は低い。例えば日曹製鋼會社の新發田工場或は富山工場で砂鐵を原料として開放式低爐型電氣爐で鉄鐵を製造するときに生ずる鑄滓 (TiO₂ 25%以上) の如きを利用するなればこれを極めて安價に入手できるからである。

神戸鑄鐵所では通産省の工業化試験研究費の補助をうけS-H鑄鐵を以つて鋼塊鑄型を製造する研究を行う計畫を立て目下5t容量の回転式重油爐を建設中であり又キヌボラの前床内で鑄滓處理を施しキヌボラ鑄鐵浴から直接S-H鑄鐵鑄物を製造する研究に着手している。これ等の研究結果

はいづれ近い将来報告できると思う。

尚、株式会社島津製作所において現在200kg容量の酸性エルー型電気爐によつてS-H鑄鐵鑄物が製造せられているのであるがその方法はほゞ上記のそれと同様であることを附記して置く。

Ⅲ S-H 鑄鐵の特性

1. 機械的性質

クリプトル爐を用い炭素及び珪素含有量の異なる次の成分の鑄鐵浴約2kgづゝを黒鉛ルツボ内
 $C=2.9\sim 3.7\%$ $Si=1.5\sim 2.0\%$ $Mn=約0.6\%$ $P=約0.3\%$ $S=約0.06\%$
で造りこれを前章に掲げた基本条件とほゞ同様の条件の下で鍍滓處理を施したる後直徑25mmの生砂型に鑄込んでS-H鑄鐵試験棒を鑄造しその抗張力、横折力、撓み量及びブリネル硬度を測定して普通の片狀黒鉛組織の鑄鐵（以下C-鑄鐵と假稱する）のこれ等の性質と比較した。

實驗結果は第1圖及び第2圖の如くである。

この實驗結果から次の事實が知られる。

(1) C-鑄鐵の抗張力は炭素含有量が増加するに従い次第に小となりC=3.7%となると16kg/mm²位に低下するがS-H鑄鐵のそれは炭素含有量によつて殆んど影響をうけることなくC=3.7%において25kg/mm²内外の高抗張力を有している。

(2) C=3.3~3.4%を境として炭素含有量がこれより低いとS-H鑄鐵の抗張力はC-鑄鐵のそれより低いが炭素含有量がこれより高くなると逆に前者の抗張力は後者のそれより大となり兩者の差は炭素含有量が増加するに従い著しくなりC=3.7%となると約8kg/mm²となる。

(3) S-H鑄鐵とC-鑄鐵の横折力についての關係もほゞ抗張力についての關係と同様である。

(4) S-H鑄鐵の撓み量は一般にC-鑄鐵のそれより小である。然し兩者の差は炭素含有量の増加と共に減少し、C=3.7%においては極めて小となる。

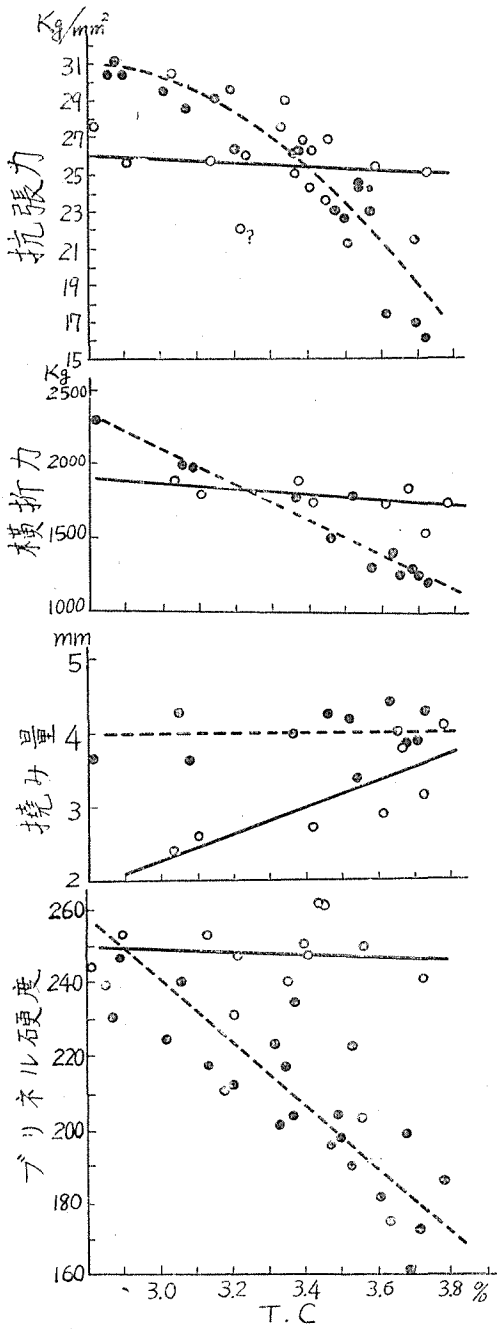
(5) S-H鑄鐵の硬度は一般にC-鑄鐵のそれより遙に大で兩者の差は炭素含有量の増加と共に著しく大となる。

以上の實驗において鑄造したるS-H鑄鐵の試験棒の組織を見るに黒鉛は勿論共晶黒鉛組織を呈しているのであるが基質には多少なりともフェライトが現われている。そこで基質にパーライトのみを生ぜしめ且つパーライト組織を微細化し更にパーライトフェライトを強力ならしめる作用をする特殊元素を添加してS-H鑄鐵を造れば炭素含有量が3.7~3.8%のように極めて高くとも抗張力の更に一段高い鼠鑄鐵鑄物が得られはしないであらうかと云う豫想の下に實驗を進めその結果所謂高炭素高抗張力鼠鑄鐵鑄物の製造に成功した次第である。

以下少しく普通成分 (Mn=0.6%内外) より多量滿俺を含んだ高炭素S-H鑄鐵の機械的性質について述べよう。

この實驗に用いた鑄鐵浴の滿俺以外の成分は次の如くである。又S-H鑄鐵とC-鑄鐵の試験棒の

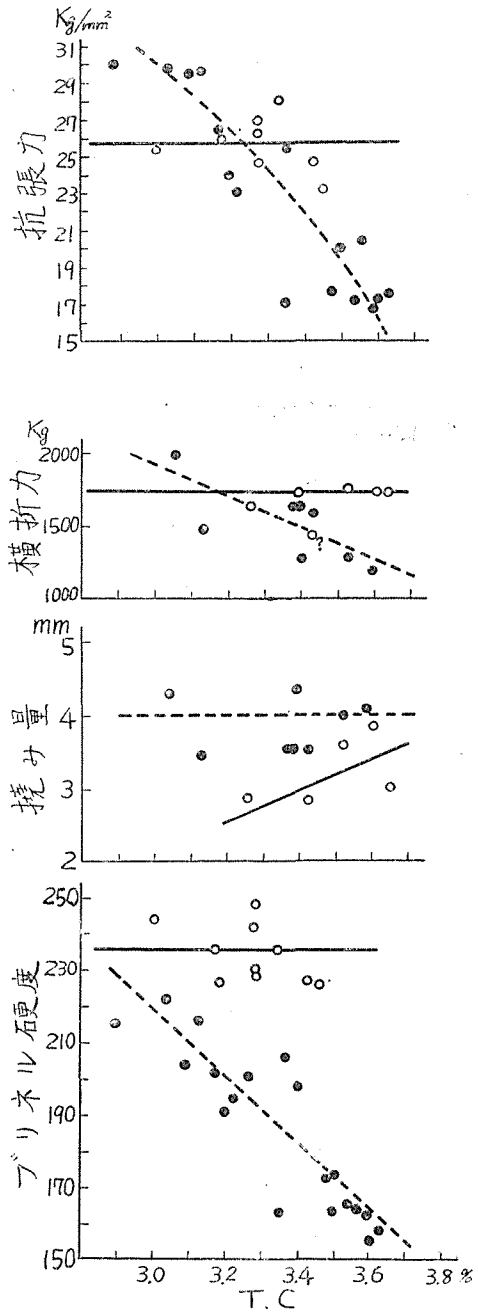
$C=3.6\sim 3.8\%$ $Si=約1.5\%$ $P=0.2\sim 0.3\%$ $S=0.04\sim 0.06\%$



Si \approx 1.5%

—○— S-H 鑄鉄
 —●— 普通鑄鉄

第 1 圖



Si \approx 2.0%

第 2 圖

製法は前と同様である。

実験結果は第3圖の如くである。

圖に見るようにこの場合においてもS-H鑄鐵の抗張力、横折力及び硬度はC-鑄鐵のそれより遙に大であるが撓み量については逆の関係となる。S-H鑄鐵の抗張力と横折力は滿俺が増加するに従い急に大となり、前者は0.8%となると29~30kg/mm²に達し、それ以上滿俺が増加するに従い次第に減少する傾向にある。

要するにS-H鑄鐵の機械的性質における最も大きな特徴は炭素含有量が極めて高いに拘らずその抗張力が23kg/mm²より遙かに大なる點にある。

2. 鑄造性

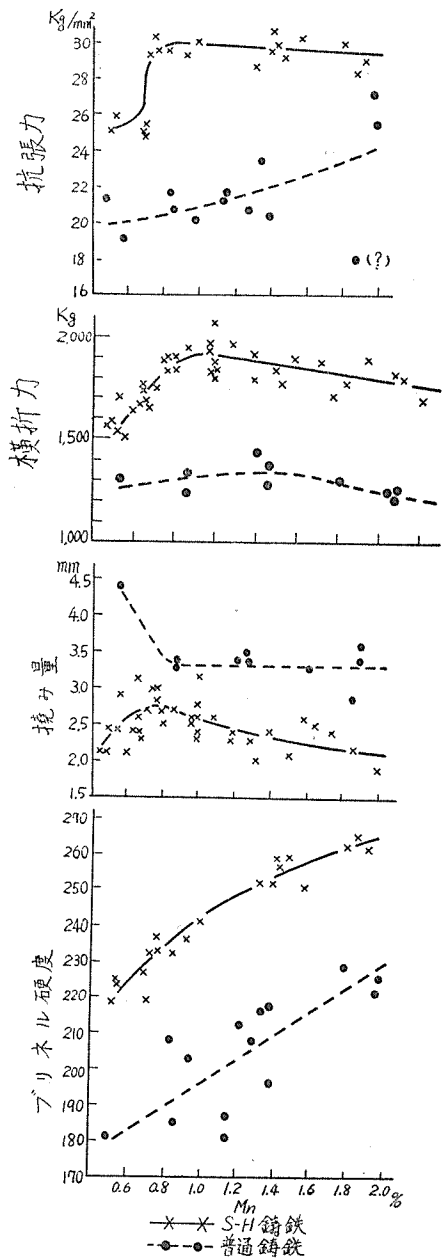
S-H鑄鐵の鑄造性は概して同一成分*のC-鑄鐵のそれと同様であると考えて差支がない、一般に鑄鐵の鑄造性は炭素含有量の増加と共に良好となるものであるが必ずしもそうとは限らない、例えば粒狀黑鉛鑄鐵の如きは炭素含有量が極めて高くても鑄造性が悪くこれに健全なる鑄物を製造するのに多大の苦心が拂われている。S-H鑄鐵にあつては特に炭素が3.7~3.8%のように高い場合には湯流れの點において又凝固の際の收縮の程度においてC-鑄鐵と殆んど差異がなくその鑄造性が極めて良好であることが實驗室的に又現場的に確められている。

たゞS-H鑄鐵はチタンを常に約0.4%以下含有し、その爲にその鑄鐵浴の表面に酸化皮膜を極めて生じ易い缺點があり、この皮膜を鑄物の本體に混入せしめないような造型上の工夫を忘れてはならない。但しS-H鑄鐵に特殊元素を加えそのチタン含有量を極力小ならしめ(第12表~第26表参照)るとこの缺點を或程度除去することができるものと考えられる。

3. 質量効果

現在迄の實驗結果によると砂型鑄造の場合前記の方法によつて肉厚さが約50mm以下であれば

* S-H鑄鐵は常に多少のチタンを含んでいる。チタン以外の成分が同一である意。



第3圖

全部完全な共晶黒鉛組織の鑄物が得られることが知られている。肉厚さが餘り厚いと砂型に接觸した部分に共晶黒鉛組織を生じその中間は普通の片状黒鉛組織となる、但しこの意味の質量効果は前記の實驗結果から知られるように鑄鐵にニッケル或はタングステンを添加すると大に緩和されることが豫想される。

次に全部共晶黒鉛組織の鑄物であれば肉厚さが厚くとも外部と内部との組織に餘り變化がなく、従つて外部と内部との機械的性質が殆んど同一で、しかもそれは別に鑄造せる試験棒のそれと殆んど變らない。即ち鑄物本體の機械的性質は常に試験棒のそれによつて凡そ代表されることになる。この點はC-鑄鐵鑄物に期待することができないS-H鑄鐵の一特徴と云えるであろう。

4. そ の 他

S-H鑄鐵はその質が極めて緻密で通氣度が甚だ小である特性を有する。従つて鑄物の内部酸化に基いて起る生長が又小である。

Ⅳ S-H 鑄鐵の工業的應用

S-H鑄鐵は上述のような特性を有しているから次のような鑄物の製造に應用すると有利である。

(1) 抗張力 23kg/mm^2 以上が要求される上に形狀が極めて複雑な鑄物或は引け巢が極めて生じ易い形狀の鑄物。

従來上記のような抗張力を有する鑄物を造るにはC=3.1~3.2%程度の比較的低炭素の材質が選ばれている。然るにこの種の鑄鐵は鑄造性が悪いので鑄造が困難で成品歩留の向上に多大の苦心を拂わなければならないがC=3.8%内外のS-H鑄鐵を用いると抗張力において勿論十二分に規格に應ずることができるのみならず鑄造性が極めて良好であるから安易に健全なる目的の鑄物を製造することができ歩留が大となる。

水壓試験をうけなければならない鑄物の鑄造には特にS-H鑄鐵が適していると思う。

(2) C=約3.8%, Mn=約1%のS-H鑄鐵の抗張力は $28\sim 30\text{kg/mm}^2$ であるからこれを用いて鑄物重量の輕減を計り得る可能性がある。

(3) 高炭素高抗張力S-H鑄鐵は一般に硬度が高いから或種の耐磨耗性鑄物の製造に適する。

(4) S-H鑄鐵の通氣度は極めて小であるから高度眞空機械の部品の鑄造に適する。

(5) S-H鑄鐵の耐熱性は一般にC-鑄鐵に優れているから或種の耐熱性鑄物の製造に適する。

現在S-H鑄鐵を工業的に應用しているのは株式會社神戸鑄鐵所と株式會社島津製作所であつて前者は自轉車用小型發動機のシリンダースリーブを、後者は高度眞空ポンプ部品をこの鑄鐵で製造し好成績を挙げつゝあることを附記して置く。

Ⅴ 酸化チタンを含有する熔滓に接觸せる鑄鐵に共晶黒鉛が生ずる理由

前述のように鑄鐵浴をこれに酸化チタンを含有する熔滓を接觸せしめたる後鑄型に鑄込むと共晶黒鉛組織が生ずる理由を明かにすることは容易でなく、この問題を解決するには長期に亘る研

究を必要とする。然しながら筆者は今迄に得られた実験結果に基いて一應の説明を與えて置きた
いと思う。勿論これは十分なる実験的根據を持たない假説に過ぎないことを斷つて置く。

さて今迄の実験結果によつて知られているS-H鑄鐵の成分上の特異點は第12表～第26表に示す
ようにS-H鑄鐵が多少に拘らずチタンを含有していることである。このチタン含有量は種々の條
件によつて支配されるが特に炭素含有量の影響が顯著である。今炭素、珪素以外の不純物の含有

量が極めて小である鑄鐵について實
験を行つた第12表の結果からS-H鑄
鐵の炭素含有量とチタン含有量との
關係を圖示すると第4圖の如くであ
る。即ちチタン含有量は炭素含有量
が2.6%のとき0.1%程度であるが炭
素含有量の増加に従い大となり、こ
れが4%となると0.3%以上に達する。

勿論炭素以外の特殊元素の影響も
大きく、一般に特殊元素が含有され
たS-H鑄鐵のチタン含有量は特殊元
素が含有されていないS-H鑄鐵のそ

れより低い。例えば Mn=1.36%で C=3.3%, Si=1.61%, 他の不純物含有量微量なる成分の
S-H鑄鐵のチタン含有量は若し滿庵の含有量が痕跡であれば0.2%程度である筈であるのに(第13
表参照) 僅かに0.03%に過ぎない(第14表参照)。本実験の範囲内ではS-H鑄鐵のチタン含有量は
最大0.33% (第12表参照), 最小0.01% (第25表参照) である。

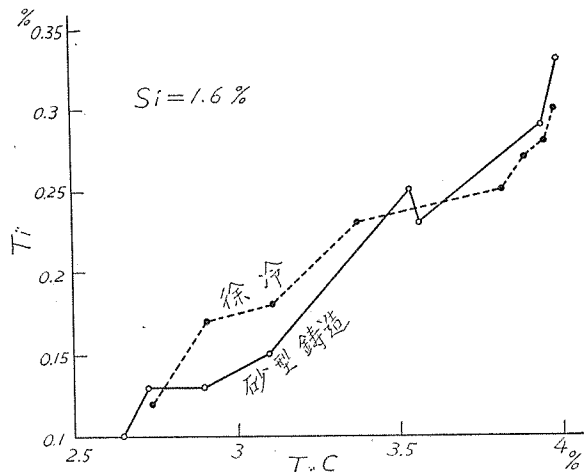
かように鑄鐵浴にチタンが極めて微量含有されていてもこれが鑄鐵が凝固する際に共晶黒鉛が
生ずる重要な原因の1つであることは動かすことのできない事實であると考えられる。

次に酸化チタンを含有する熔滓に接觸した鑄鐵浴内においてチタンが如何なる形態にあるか
について考ふるに詳細なる説明は省略するが熱力學的考察の結果チタンの大部分は炭化チタン(Ti
C)の形態においてあるであろうと推定するのが至當であるとの結論を得た。

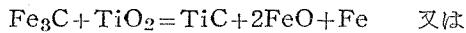
酸化チタンを含有する熔滓と鑄鐵浴とを接觸せしめ熔滓上を炭素粉で掩うた場合チタンが熔滓
から鑄鐵浴中に移動しそのうちで炭化チタンが生ずる機構は次の如く考えられる。即ち熔滓中の
酸化チタンが炭素粉で還元されてチタン或は炭化チタンが生じこれらが鑄鐵浴中に吸収されチタ
ンはそのうちのセメントイト或は炭素に作用して次式に従い炭化チタンが生ずる。



或は熔滓中の酸化チタン又は Nernst の分配律に従つて鑄鐵浴中に熔滓から移動してきた酸化
チタンと鑄鐵浴中のセメントイト或は炭素が反應して炭化チタンが生じ、同時に生じた一酸化鐵
が炭素で還元される。即ち



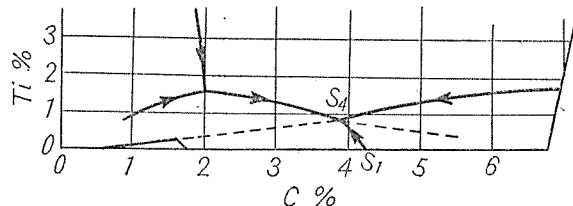
第4圖



熔滓中或は鑄鐵浴中に存在するFeOの還元へ炭素以外の鑄鐵浴中の強還元性元素特に珪素の作用も考えられる。

今 Tofaute-Büttinghaus¹⁾ によつて求められた Fe-Ti-C 3 元平衡状態圖の略圖を示すと第 5 圖の如くである、

チタン約 0.3% 以下の亞共晶成分の Fe-Ti-C 系鑄鐵が凝固するときにはまず一次オーステナイトが晶出し、次にオーステナイト-Fe₃C 2 元共晶の凝固が始まつて凝固が進行するに従い融體の成分が曲線 S₁S₄ に沿うて變化し



S₄: 共晶 (C=3.9%, Ti=0.8%)

第 5 圖

S₄ 點に達するとオーステナイト-Fe₃C-TiC 3元共晶が凝固して凝固の過程が終る。普通成分の鑄鐵及び特殊成分の鑄鐵には不純物或は特殊元素が含有されているのであるからその凝固は第 5 圖に示されるものとは異つた更に複雑な過程を辿る筈であるが結局は炭化チタンを含んだ共晶が凝固するものと推定され、結果から想像して本實驗の條件の下では凝固した S-H 鑄鐵に生じた共晶の大部分が炭化チタンの獨立固相を混じえたものであり、この炭化チタンが共晶内に極めて微細な微粒子として數多く分散されているが爲に凝固の際セメンタイト結晶の發達並びにセメンタイトの分解によつて生じた黒鉛結晶の發達が阻害される結果として黒鉛が微細化し所謂共晶黒鉛組織が生ずるものと考えられる、

鋼にチタンを添加して炭化チタンを生ぜしめるとそのオーステナイトの結晶粒が微細化するか²⁾、或は炭化チタンを含んだ鋼のオーステナイト結晶粒の成長が極めて困難である³⁾ とか云う現象の原因はこゝに問題の現象の原因に一脈相通するものがあるように推察される。

尙以上は鑄鐵の黒鉛が二次的にセメンタイトの分解によつて生じるものであるとの説に基いて説明したのであるが黒鉛が直接融體から晶出するものであると假定しても類似的に説明されると思う。

VI 結 言

S-H 鑄鐵の製造法、特性及びその工業的應用範圍等については概略上述の如くである。現在 S-H 鑄鐵鑄物を工業的に製造しているのは神戸鑄鐵所と島津製作所の 2 工場に過ぎないのであるが製造法が簡單であり、製造に要する經費も餘り問題にならない程度であるからその特性が十分理

1) Arch. Eisenhüttenwes., 12 (1938) 33.

2) Comstock-Clark: Metals and Alloys, 8 (1937) 42; Bannon: T. A. S. M., 25 (1937) 737.

3) Comstock: T. A. S. M., 28 (1940) 608; 村上-今井-中島: 日本金屬學會誌, 7 (1943) 33.

解されるに至ればその工業的應用の範圍は廣く擴大される可能性があるものと豫想せられる。

勿論S-H鑄鐵に關する研究はその緒についたばかりであつてその基礎的問題、その實用化の問題は前途に山積している。筆者はこれ等の問題を追々に解決し一日も速くS-H鑄鐵の實用化への安易な道を拓く爲に日夜努力を續けつゝある次第であつて若しこれによつて我國の復興に幾分なりとも寄與することができれば筆者の無上の幸とするところである。

然しながら凡そこの種の發明が廣く實用化される迄には可成りの長時間を要することは最近の鑄鐵界において最も注目されている新發明延性鑄鐵 (Ductile cast iron) の例に徴して明かである。米國のInternational Nickel Co. (INCO) の Gagnebin, Millis and Pilling¹⁾ がセリウムの代りにマグネシウム及びその合金を用いて完全な球狀黒鉛鑄鐵の製造に成功したのは今から4年前のことであるが米國及びカナダにおけるこの鑄鐵の工業的生産量²⁾ は1949年約3千5百噸、1950年約2萬噸、1951年約5萬噸に過ぎない。これは新發明の實用化に關する研究に缺くところがあつて新發明を工場に導入するに當り或は熔解方案、鑄造方案の改變、或は機械設計の更新、或は流れ作業の調整等種々の煩瑣な問題を伴うからである。然しながらかかる困難を克服しなければ技術の進歩は望めず、かかる難關を突破することこそ技術者の使命と云わなければならない。

擲筆するに當り筆者は特にS-H鑄鐵に關心を持たれる各鑄物工場においても工場に適應するS-H鑄鐵鑄物の實用化に關する研究を遂行されんことを熱望して止まない。

附 記

- 1) II, 1 及びIVは澤村宏と京都大學化學研究所助手津田昌利の共同研究
- 2) II, 2 及びIIIは澤村宏と神戸鑄鐵所取締役技師長堀田美之の共同研究

1) Iron Age, 163 (1949) Jan. 13, p. 30.

2) INCO : Nickel Topics, 5 (1952) NO. 3 p. 5.