

TiO₂ を含有する鉍滓による微細化黒鉛鑄鉄に関する研究[†] (VIII)

(鑄鉄の組織におよぼす金属チタン, フェロチタンならびに銅-チタン系合金添加の影響)

沢 村 宏*・津 田 昌 利**

INVESTIGATION ON CAST IRON HAVING REFINED GRAPHITE PRODUCED BY MELTING CAST IRON COVERING WITH SLAG CONTAINING TiO₂ (REPT. VIII)

(Influence of Addition of Metallic Titanium, Ferro-titanium and Cu-Ti Alloy upon the Structure of Gray Cast Iron)

Hiroshi Sawamura Dr. Eng. and Masatoshi Tsuda

Synopsis:

The cast iron melts containing about 3.5% C and about 1.8% Si were cast in small moulds of current use in the previous experiments after addition of Ti in the form of metallic Ti, ferro-Ti and of Cu-Ti alloy. In the present scope of experiments, gray cast irons having the same eutectic graphite structure may be prepared in the present case as in the previous experiments where cast iron melts have been treated with the slag containing TiO₂, as far as more than 0.05% Ti was contained in the cast metal in the form of TiC and the melts were cast at the temperature lower than 1400°C. It is doubtful, however, that the above mentioned result will be always obtained also when the larger mould is used for casting.

I. 緒 言

我々は既報¹⁾のごとく S-H 鑄鉄の特異成分として Ti を指摘し、含 TiO₂ 熔滓処理による黒鉛の微細化作用と Ti との相関性に関し追試してきた。本報においては鑄鉄浴に含 TiO₂ 熔滓処理を施すことなく直接に Ti を金属チタン, フェロチタンおよび銅-チタン系合金等の形において添加して、これが黒鉛組織に如何に影響をおよぼすか、あるいは完全またはほとんど完全に近い共晶黒鉛組織を有する S-H 鑄鉄と同程度の共晶黒鉛組織を有する鑄鉄鑄物を得るためには果して何パーセントの Ti が含有されていることが必要であるか、なおまたこのようにして添加した Ti は S-H 鑄鉄における場合と同様に炭化物型 Ti が ΣTi の大部分を占めているか等について行なつた実験の結果を述べんとするものである。

II. 実験原料および実験方法

本実験に用いた鑄鉄原料は Table 1 に示すごとくである。

そのうち (F-1)~(F-4) は日曹製鋼 K.K. 新発田工場で製造された C 以外の不純物が比較的僅少ななるものでその成分は T.C=3.66%, Si=0.01%, Mn=0.03%,

P=0.011%, S=0.014%, Cu=0.01%, Cr=0.01% および Ti, V 共に痕跡のごとき白鉄に Si=約1.7% になるように金属 Si (Si>98%) を配合して熔製したものである。F-5 および F-6 は K.K. 神戸鑄鉄所播磨工場より提供されたキユボラ鉄である。金属 Ti は K.K. 神戸製鋼所より寄贈されたもの、フェロ Ti は普通の市販品である。Cu-Ti 系合金は A. Joukainen, N. J. Grant および C. F. Floe²⁾ の Cu-Ti 系合金の平衡状態図を参考としてこれを所定量配合してアルゴン気流中で電弧熔解して製造したものである。その熔融点は上記の平衡図によると約 995°C である。

本実験においてもタンマン炉を用いた。熔解および鑄造条件は先に決定した S-H 鑄鉄製造の最適条件³⁾ を原則的に採用したのであるが、ただ含 TiO₂ 熔滓処理を行うかわりに鑄鉄浴に上記の Ti ならびにその合金を直接添加した。市販の No. 1/2 黒鉛坩堝で鑄鉄原料約 150g を熔解した鑄鉄浴を最高加熱温度 1400°C~1450°C に保持しこれに所定量の金属 Ti, フェロ Ti あるいは Cu-Ti 系合金のいずれかを添加し炭素棒で攪拌した。

† 昭和31年10月本会講演大会にて発表

* 京都大学教授工学博士

** 京都大学化学研究所

Table 1. The composition of raw materials.

No.	Kinds of raw materials	Composition (%)							
		T.C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	Cu
F-1	Cast iron-A	3.46	1.76	0.03	0.008	0.016	tr	—	—
F-2	“ -B	3.59	1.80	0.01	0.007	0.010	“	—	—
F-3	“ -C	3.38	1.69	—	—	—	“	—	—
F-4	“ -D	3.53	1.90	0.04	0.012	0.015	—	—	0.005
F-5	Cupola pig iron-E	3.94	1.65	0.61	0.184	0.073	0.07	—	—
F-6	“ -F	3.89	1.60	0.59	0.175	—	0.07	—	—
F-7	Metallic titanium	—	—	—	—	—	99.55	—	—
F-8	Ferro-titanium-1	0.07	0.9	—	—	—	16.00	2.85	—
F-9	“ -2	0.06	0.9	—	—	—	21.54	4.70	—
F-10	Cu-Ti Alloy	—	—	—	—	—	69.61	—	30.28

添加物は (-14)~(+35) メツシユの大きさに粗砕したものをを用いた。Ti 添加後の鑄鉄浴は同温度で 15mn 間保ち、その間 5mn 毎に攪拌を繰返えした後直径 25 mm、長さ 70 mm の乾燥砂型に所定の鑄込温度で鑄造した。鑄造試料の取扱いならびに共晶黒鉛組織の表示法⁴⁾は従前の通りであるゆえに省略する。前記 3 種類の Ti およびその合金類の添加法は (i) 表面添加法と (ii) 浸漬添加法とについて行なつた。表面添加法とは添加物を紙片に包んで浴の表面に添加する方法、浸漬添加法と名付けたのは約 150 g の鑄鉄原料のうち、1/3 の原料の中央部を穿孔しこの孔に所定量の Ti 添加物を詰込んだものを 2/3 の原料を熔解して造つた浴中に浸漬して Ti を添加する方法である。ところがこれ等の方法による Ti の歩留りは大差がなかつたので実験の後半は簡易な表面添加法で実験を行なつた。

III. 実験結果

(1) 鑄鉄原料の再熔解が黒鉛組織におよぼす影響すでに第 1 報⁵⁾において鑄鉄浴の鑄造組織におよぼす加熱効果に関する実験を行い Mashinenfabrik-Esslingen の測定結果⁶⁾と比較した。また小川喜代一氏等⁷⁾も鼠鑄鉄の高温加熱による共晶黒鉛鑄鉄の製造について発表されているが完全な共晶黒鉛鑄鉄を得るには 1,450°C よりも遙かに高温が適当であるとしている。ここでは何ら Ti 添加を施すことなしに本実験条件の下で鑄鉄原料のみを熔解して黒鉛組織におよぼす加熱温度の影響を検討しておくことが、後述の Ti 添加の効果を調べる上に必要であると考え原料 (F-1) を用いてこの実験を行なつた。その結果は Table 2 に示すごとくである。

この結果によると原料は Photo. 1 にみるとき片状黒鉛組織であるが原料を 1430°C の程度に加熱したのでは Photo. 2 にみられるような細かい片状黒鉛組織に変化するのみでそのうちに共晶黒鉛は全く認められな

Table 2. Results obtained by remelting of raw material No. F-1

Exp. No.	Remelting temp. (°C)	Composition of the remelted specimens (%)			Graphite structure	B.H.N.
		T.C	Si	Ti		
315	1425	3.42	1.74	tr	Small flaky	217
316	1430	3.38	1.76	“	“	“
317	1425	3.41	1.75	“	“	“

Duration of time at remelting temperature: 15mn.

Casting temp. 1300°C.



Photo. 1. Specimen: No. F-1 No etching×90,(1/2)
Photo. 2. Specimen: Exp. No. 315 No etching×90,(1/2)

い。これは第 1 報の実験結果と同じ結果を示している。

(2) 鼠鑄鉄の組織におよぼす Ti 添加の影響

(i) 金属 Ti 添加の影響

表面添加法 原料 F-1 を 150 g 熔解した浴中に金属 Ti を 1, 0.5, 0.25, 0.13, 0.07 および 0.04% の割合でそれぞれ表面添加した場合の実験結果は Table 3 一第 1 群に示すごとくである。Ti 添加量とは原料に対する重量割合である。以下における実験においてもこれと同様であつて Ti 合金の場合には Ti に換算した値である。

浸漬添加法 原料 F-1 を用い金属 Ti を 0.3, 0.2, 0.15, 0.1, 0.05 および 0.025% の割合で添加した場合の実験結果は Table 3 一第 2 群に示すごとくである。

これらの実験結果によれば Ti の歩留りは表面添加法 (第 1 群) による場合では最高約 57% , 最低約 9% ,

Table 3. Results obtained by the treatment of metallic titanium.

Exp. No.	Exp. group	Maximum heating temp. (°C)	Quantity of added metallic titanium (%)	Composition of cast iron specimens after treatment (%)			Yield of Ti (%)	Ti (%)		Ratio to Σ Ti (%)		Graphite structure	B.H.N.
				T.C	Si	Σ Ti		Ti as TiC	Ti as metallic Ti	Ti as TiC	Ti as metallic Ti		
318	I	1435	1	3.38	1.78	0.567	56.70	0.502	0.060	88.54	10.58	A	174
319	//	1440	//	3.45	1.79	0.374	37.40	0.297	0.070	79.41	18.72	//	163
320	//	//	//	3.42	1.82	0.313	31.30	0.224	0.045	71.51	12.03	//	//
321	//	1445	0.5	3.39	1.84	0.071	14.20	0.049	0.015	69.01	21.13	B	149
322	//	//	//	3.41	1.78	0.048	9.60	0.030	0.015	62.50	31.25	//	197
323	//	1435	//	3.47	1.80	0.092	18.40	0.060	0.022	71.74	23.91	A	152
324	//	1425	0.25	3.32	1.73	0.026	10.40	0.016	0.007	61.54	26.92	D	197
325	//	1435	//	3.35	1.70	0.030	12.00	0.015	0.006	50.00	20.00	C	201
326	//	//	//	3.39	//	0.025	10.00	0.011	0.010	44.00	40.00	D	//
327	//	1440	0.13	3.45	1.76	0.038	29.23	0.018	0.002	47.37	5.26	C	206
328	//	//	//	3.42	//	0.031	23.85	0.020	0.008	64.52	25.81	//	//
329	//	1425	//	3.44	1.73	0.038	29.23	0.022	0.010	57.89	26.32	//	217
330	//	//	0.07	3.35	1.81	0.016	22.86	0.009	0.006	56.25	37.50	D	223
331	//	1430	//	3.43	1.83	0.029	41.43	0.020	0.005	68.97	17.24	//	206
332	//	1425	//	3.44	1.85	0.012	17.14	0.006	0.005	50.00	41.67	//	212
333	//	1440	0.04	3.39	1.80	0.023	57.50	0.016	0.001	69.57	4.35	C	217
334	//	//	//	3.44	//	0.015	37.50	0.006	0.007	40.00	46.67	D	//
335	//	1435	//	3.47	1.79	0.006	15.00	—	—	—	—	//	212
336	II	1420	0.3	3.55	1.74	0.247	82.37	0.210	0.030	85.02	12.15	B	139
337	//	1440	//	3.49	1.88	0.086	28.67	0.060	0.022	69.77	25.58	//	187
338	//	1415	0.2	3.52	1.89	0.088	44.00	0.061	0.021	69.32	23.86	A	136
339	//	1440	//	3.45	1.84	0.123	61.50	0.097	0.024	78.86	19.51	//	159
340	//	//	0.15	3.48	1.86	0.089	59.33	0.058	0.030	65.17	33.71	//	152
341	//	1435	//	3.47	1.89	0.045	30.00	0.026	0.016	57.78	35.56	B	183
342	//	1445	0.1	3.57	1.82	0.012	12.00	0.004	0.006	33.33	50.00	D	223
343	//	//	//	3.49	1.86	0.011	11.00	0.003	0.007	27.27	63.64	//	212
344	//	1420	0.05	3.54	1.82	0.037	74.00	0.023	0.013	62.16	35.14	C	201
345	//	1425	//	3.43	1.75	0.011	22.00	0.005	0.004	45.45	36.36	D	217
346	//	1420	0.025	3.42	//	0.010	40.00	0.003	0.006	30.00	60.00	//	201
347	//	//	//	//	1.82	0.021	84.00	0.003	0.011	14.29	52.38	//	//

Duration of time at heating temperature: 15mn.

Casting temp: 1300°C.

浸漬添加法 (第Ⅰ群) による場合には最高約 84%, 最低約 10% であつた。両法ともに歩留率が不揃いであつて全般的にみて歩留りはよくないことが知られ, Ti 添加法の多少に関せずこの傾向が認められる。上記のとおり 84% の歩留りを示した場合もあつたのであるがこれは唯一つの例に過ぎず添加法の相異もあまりいちじるしい変化を与えなかつた。実験範囲の結果からいへば本実験条件のごとく最高加熱温度 1400°C~1450°C の下では Ti を目標通り添加することは可成りむずかしいように思われる。

Ti 添加処理後の鑄鉄試片の Ti 含有量と黒鉛組織との関係は Σ Ti 含有量が約 0.07% 程度以上であれば完全あるいはほとんど完全に近い共晶黒鉛組織が得られる。また Ti 含有量がたとえ 0.006% あるいは 0.01% のごとき少量であつても共晶黒鉛の発生は観察されるがその割合は片状黒鉛の方が共晶黒鉛よりもはるかに多い。

(ii) フェロ Ti 添加の影響

原料 F-2 を 150g 溶解した浴中にフェロ Ti F-3 を Ti に換算して 0.5, 0.3, 0.25, 0.2, 0.1 および 0.05 % の割合で表面添加法で添加した。実験結果は Table 4 に示すごとくである。

本実験結果によれば先の金属 Ti 添加における場合と同様に Ti の歩留りは概して低くかつあまり揃わない。Ti 添加処理後の鑄鉄試片の Σ Ti が約 0.06% 程度以上のものは完全あるいはほとんど完全に近い共晶黒鉛組織が得られ, Ti 含有量が約 0.04% 程度のものは (B) に近い (C) なる共晶黒鉛組織, これ以下のものは可成り片状黒鉛が混じた (C) または (D) なる不完全共晶黒鉛組織のものであつた。この Ti 含有量と黒鉛組織との関係はほぼ前実験 (i) に近い傾向を示している。本実験に用いたフェロ Ti F-8 は Table 1 にみられるように Al を 2.85% 含有している。今フェロ Ti の最大添加量 0.5% Ti の場合に例をとるとこの添加物が全部

Table 4. Results obtained by the treatment of ferro-titanium.

Exp. No.	Quantity of added Ti (%)	Maximum heating temp. (°C)	Composition of cast iron specimens after treatment (%)			Yield of Ti (%)	Graphite structure	B.H.N.
			T.C	Si	Σ Ti			
348	0.5	1420	3.64	1.67	0.130	26.00	A	178
349	"	"	3.60	1.79	0.128	25.60	"	159
350	0.3	1435	3.61	1.84	0.097	32.33	"	156
351	"	1440	3.56	1.81	0.110	36.67	"	152
352	0.25	1435	3.62	1.79	0.120	48.00	B	156
353	"	"	3.59	1.77	0.083	33.20	"	"
354	0.2	1430	3.55	1.82	0.062	31.00	"	139
355	"	1425	3.54	1.80	0.061	30.50	"	"
356	0.1	1435	3.53	1.76	0.042	42.00	C (near to B)	142
357	"	1430	3.63	1.77	0.026	26.00	C	136
358	0.05	"	3.59	"	0.027	54.00	D	201
359	"	1425	3.62	1.74	0.020	40.00	"	"

Duration of time at heating temperature: 15mn.

Casting temp.: 1300°C.

Table 5. Influence of casting temperature upon the eutectic graphite structure of the cast iron treated with ferro-titanium.

Exp. No.	Casting temp. (°C)	Maximum heating temp. (°C)	Composition of cast iron specimens after treatment (%)			Yield of Ti (%)	Graphite structure	B.H.N.
			T.C	Si	Σ Ti			
360	1200	1435	3.89	1.90	0.359	46.03	A	223
361	"	1430	"	1.86	0.356	45.64	"	207
362	"	1425	3.90	1.88	0.360	46.15	"	197
363	"	1440	3.81	1.87	0.386	49.49	"	207
364	"	1430	3.89	"	0.352	45.13	"	"
365	1250	1445	3.90	1.88	0.298	38.21	"	197
366	"	1450	3.89	1.90	0.302	38.72	"	217
367	"	"	"	1.91	0.360	46.15	"	197
368	"	1430	3.87	1.89	0.313	40.13	"	"
369	"	1435	3.91	1.88	0.341	43.72	"	201
370	1300	1420	3.90	1.87	0.283	36.28	"	197
371	"	1430	3.89	1.89	0.324	41.54	"	187
372	"	1435	"	1.88	0.316	40.51	"	192
373	"	1425	3.90	1.87	0.320	41.03	"	"
374	"	"	3.91	1.90	0.298	38.21	"	207
375	1350	1435	3.90	1.86	0.349	44.74	"	197
376	"	"	3.89	1.89	0.351	45.00	"	192
377	"	"	"	1.90	0.297	38.08	"	183
378	"	1440	3.91	1.89	0.312	40.00	"	197
379	"	1450	3.88	"	0.400	51.28	"	"
380	1400	"	3.89	1.88	0.429	55.00	"	207
381	"	1455	3.90	1.86	0.375	48.08	B	212
382	"	1440	3.89	1.89	0.417	53.46	A	201
383	"	1445	3.87	1.88	0.369	47.31	"	197
384	"	"	"	1.89	0.351	45.00	"	192
385	1420	1435	3.90	1.88	0.420	53.85	B	197
386	1430	1445	3.76	1.87	0.405	51.92	"	"
387	1435	1450	3.83	1.88	0.409	52.44	C	"
388	"	"	3.72	1.87	0.502	64.36	B	"
389	1430	1455	3.81	1.86	0.334	42.82	C	187

Duration of time at heating temperature: 15mn.

Quantity of Ti added as ferro-titanium: 0.78%

完全に添加できたと仮定しても鑄鉄溶解量の Al 約 0.09 % に相当する。実際にはこの Al の 1 部は Al₂O₃ の形で含有されまた Al の歩留りはきわめて低いことが知ら

れているから Al 量もさらに低くなっている筈である。したがってこの程度の Al 量の影響は第 III 報⁹⁾ の実験結果から無視して差支えない。

(iii) フェロ Ti 添加処理における鑄込温度の影響

本実験は原料 F-3 およびフェロ Ti F-9 を用い表面添加法で行なつた。前実験における鑄込温度はいずれも 1300°C 一定としたのであるが、本実験では 1200°C ~1450°C の間で鑄込温度を 50°C 宛変化せしめた。この実験結果は Table 5 に示すごとくである。

本実験結果によると Ti の歩留りは最高約 64%、最低約 36% であつた。本実験条件下における鑄込温度の影響は 1200°C ~1350°C の間では全く認められず全部完全共晶黒鉛組織からなるが、1400°C では5実験中で4実験まではA、残りの1つにBを得た。しかるに鑄込温度 1420°C ~1435°C になるとこれらの鑄造試片中には Ti が約 0.3~0.5% のごとく可成り多量に含有されているにもかかわらず不完全共晶黒鉛組織が現われ5実験中その6割がB、その4割がCとなり結果が不揃でありまたAは得られなかつた。かように Ti が約 0.3%程度あるいはそれ以上含有されている場合には、1,200°C ~1,400°C の温度範囲では鑄込温度の影響は認められないが、1,400°C 以上になると鑄込温度の影響があらわれてくることが知られた。

(iv) 鑄鉄熔解量 7kg におけるフェロ Ti 添加処理およびその含 Ti 鑄鉄の再熔解実験

本実験には原料 F-6 およびフェロ Ti F-9 を用いた。上記の鑄鉄熔解量 150g におけるフェロ Ti 添加処理の実験結果を参考として 35K.V.A., 熔解量約 8kg の高周波炉を用い約 7kg の鑄鉄原料(片状黒鉛)を熔解しこれに Ti 1% の割合でフェロ Ti を表面添加し浴面を炭素粉で掩い、浴温を 1430°C ~1450°C で 15mn 間保つた。次に直径 30mm, 長さ 700mm の長い焼型に鑄込温度 1300°C で鑄造した。出湯温度は 1430°C であつた。かようにして得られた鑄造物の成分は Table 6 のごとくである。

Table 6. Composition of the gray cast iron treated with ferro-titanium.

Exp. No.	T.C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ti (%)
390	3.86	1.79	0.62	0.178	0.047	0.359

上記の寸法の鑄物 700mm の長さに沿つて横断した面の各部 1cm 毎にブリネル硬度を測定した。検鏡結果は完全共晶黒鉛組織Aが占める割合は全長の 85%、残りがほとんど完全に近いBを呈しCあるいはDに該当する不完全共晶黒鉛組織は認められなかつた。またブリネル硬度の測定結果は偏差が僅少で平均 192 であつた。

かようにして得られた含 Ti 鑄鉄は平均約 0.3%程度の Ti を含有している。我々はすでに第Ⅳ報¹⁰⁾でS-H 鑄鉄ならびに金型急冷法により製造した共晶黒鉛鑄鉄を同一熔解条件で再熔解してその黒鉛組織におよぼす影響を調べ、その結果両者の製造方式のちがう共晶黒鉛鑄鉄が明らかに異なる性状を有することを認めた。ここでは第Ⅳ報の実験と同一実験方法で上記のフェロ Ti 添加処理によつて得られた含 Ti 鑄鉄を再熔解し、これが共晶黒鉛組織におよぼす影響について実験した。その結果は Table 7 に示すごとくである。

この実験結果によれば予想のごとく含 Ti 鑄鉄の共晶黒鉛組織は 60mn 間再熔解した場合においても何ら変化しない。この現象は S-H 鑄鉄のそれと類似しており、金型急冷法で製造した共晶黒鉛鑄鉄と相違している。S-H 鑄鉄中に含有されている Σ Ti の大部分は TiC なる炭化物型 Ti として存在していることは第Ⅶ報¹¹⁾で明らかとした。また Ti 添加処理によつて製造した含 Ti 鑄鉄が含有する Σ Ti のほとんど大部分も S-H 鑄鉄と同様に TiC の形で存在していることも同報および本報告における Table 3, 7 および 8 によつて明らかであ

Table 7. Influence of the remelting upon the eutectic graphite structure of the gray cast iron containing Ti.

Exp. No.	Maximum heating temp. (°C)	Duration of heating time at temp. (mn)	Graphitic structure	Composition of cast iron specimens after remelting (%)			Ti (%)		Ratio to Σ Ti (%)		B.H.N.
				T.C	Si	Σ Ti	Ti as TiC	Ti as m. Ti	Ti as TiC	Ti as m. Ti	
390 (original)	0	0	A	3.86	1.79	0.359	0.347	0.008	96.66	2.23	192
391	1430	15	//	3.56	1.36	0.355	0.260	0.009	73.24	2.54	206
392	1425	//	//	3.69	1.83	0.324	0.280	0.009	86.42	2.78	//
393	1420	30	//	3.34	1.80	0.337	0.260	0.009	77.15	2.67	217
394	1430	//	//	3.71	1.83	0.326	0.252	0.009	85.71	3.06	206
395	1425	60	//	3.61	1.87	0.294	0.286	0.009	87.73	3.09	197
396	//	//	//	3.76	1.82	0.291	0.255	0.009	87.63	//	//

る。この主成分 TiC は本実験範囲において加熱時間がたとえ 60mn におよんでも Σ Ti が約 0.3% を占めているがゆえに当然完全共晶黒鉛組織が得られたものと判断される。なお Table 7 にみるように加熱時間に伴う Σ Ti の減少は TiC の減少によるものであつて金属 Ti としての Ti はほとんど変化していないことが明らかにされた。ただし本実験はタンマン炉を用い炉内雰囲気は還元性でありまた鑄込温度は 1300°C とした場合の結果である。

(v) 銅—チタン系合金添加ならびに鑄込温度の影響

本実験は原料 F-3 ならびに Cu-Ti 系合金を用いた。実験方法は前記と同様であつて鑄鉄溶解量は約 150 g, Ti は 0.3 および 0.5% を合金の形で表面から添加した。鑄込温度は 1200°C ~ 1450°C であつた。実験結果は Table 8 に示すごとくである。

この実験結果によれば Cu-Ti 系合金を用いても Ti の歩留りは前実験におけるそれよりも大いに向上したとはいえない。添加処理後の鑄鉄試片の現わす共晶黒鉛組織は鑄込温度 1200, 1250, 1300, 1350 および 1400°C のいずれの場合にも完全な共晶黒鉛組織 A を現わしていた。しかるに鑄込温度が約 1450°C の場合に試片の Ti 含有量が約 0.15% では A, 約 0.1% 程度に減少すると不完全共晶黒鉛組織 C が生じた。この現象は前記のフェロ Ti 添加実験におけると同様である。

Table 8—第 V 群は鑄鉄浴の C 含有量と添加した Ti との関係調べた実験結果である。本実験は原料 F-3 (C=3.38%) を用い、これにアームコ鉄を計算量加えて C が 3% および 2.5% なるように調製した鑄鉄浴中に Cu-Ti 合金を 0.5% 表面添加した。結果によれば C が約 2.2% 以下では白銹化の傾向を生じ Ti が 0.1% の程度であつても共晶黒鉛組織は認められなかつた。

なお前川—山下両氏¹²⁾が指摘されたごとく Ti の歩留りの向上は添加時の鑄鉄浴の温度を約 1,520°C 程度まで上昇せしめると Table 8 第 VI 群に代表例を示すように約 70% 程度となる。次に Ti 添加後の保持時間は Table 8 に示す実験では 15mn としたのであるがこれを 5mn に短縮してもまた 30mn に延長しても大なる変化を示さない。その代表例を Table 9 に示した。

以上 (i)~(v) 実験における各種の鑄造試片の代表例を示すと Photo. 3~5 のごとくである。これはいずれも T.C=3.46%, Si=1.76% その他の不純物微量の鑄鉄原料 F-1 に金属 Ti を添加して得られたものの黒鉛組織であつて Ti=0.09% 含有量の試料を境として、これよりも Ti 含有量が大きければ完全共晶黒鉛組織、こ

れよりも Ti 含有量が小であれば不完全共晶黒鉛組織へと変化してゆく過程が明確に認められる。

次に各鑄造試片の基地組織は Σ Ti 含有量が約 0.05% 程度以上で A あるいは B の共晶黒鉛組織を現わすものは全部フェライト地かあるいはほとんどフェライト地で僅かにパーライト地よりなつている。Ti 含有量が約 0.05% 程度以下で C あるいは D なる黒鉛組織を有するものの基地組織は上記と逆に Ti 量の減少と共に漸次フェライト地が減じパーライト地が増してゆきついにパーライト地が基地のほとんど全部を占めるように観察された。なお検鏡結果によれば組織におよぼす Ti の効果は単に黒鉛の微細化作用のみにとどまらず G. F. Comstock¹³⁾ およびその他の人々¹⁴⁾¹⁵⁾が述べているように基地組織の結晶微細化にも大いに働いていることが認められた。

以上の実験結果によれば金属 Ti ならびにその合金を添加して得られた完全あるいはほとんど完全に近い共晶黒鉛組織を有する試片のブリネル硬度は最低 136~最高 197, 平均約 159 である。同じ程度の C および Si を含み同程度の共晶黒鉛組織を有する S-H 鑄鉄のブリネル硬度は既報のごとく約 200~230 であつたのであるがこれよりはるかに低い。この傾向は C および Si 以外の不純物を微量含む鑄鉄原料を用いたがためによるものであるかあるいはその他の原因によるのであるか不明である。

(3) Ti 添加処理法により製造した含 Ti 鑄鉄中の TiC について

上記の各種の実験において得られた試片の Ti を第 VI 報で述べた態別定量法により主として TiC を目標として分析した結果は Table 3, 7, 8 および 9 に示すごとくである。この分析結果によれば共晶黒鉛組織 A あるいは B を示す試片を分析した炭化物型 Ti が Σ Ti に対して占める割合は約 70~80% 前後、金属 Ti としての Ti が Σ Ti に対して占める割合は約 10~20% 前後である場合が多く、これは第 VII 報¹⁶⁾で S-H 鑄鉄中の Ti に関し熱力学的計算によつて推定した数値にほぼ近似している。共晶黒鉛組織 C あるいは D を示す試片を分析した炭化物型 Ti および金属 Ti が Σ Ti に対して占める割合は上記と同様の比である場合と、これと全く異つた比率を示す 2 通りに大別できるようなのである。その 1 つは Σ Ti 量も約 0.3% 程度含有され炭化物型 Ti も約 70~80% 前後を占めているにかかわらず鑄込温度の影響により C あるいは D 共晶黒鉛組織を生じた場合である。他の 1 つは Σ Ti 量が約 0.1% 程度内外の僅少で炭化物型 Ti が約 50% あるいはそれ以下で、したがつて金属

Table 8. Results obtained by the treatment of Cu-Ti alloy.

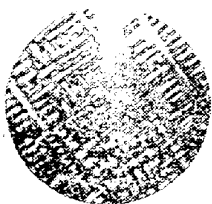
Exp. No.	Exp. group	Quantity of added Ti as Cu-Ti alloy (%)	Casting temp. (°C)	Maximum heating temp. (°C)	Composition of cast iron specimens after treatment (%)			Yield of Ti (%)	Ti as TiC (%)	Ratio of Ti as TiC to Σ Ti (%)	Graphite structure	B.H.N.
					T.C	Si	Σ Ti					
397	III	0.5	1445	1455	3.35	1.70	0.219	43.8	0.168	76.37	A	163
398	///	///	///	1450	3.36	1.67	0.199	39.8	///	84.37	///	159
399	///	///	1400	1455	3.32	1.72	0.148	29.6	0.113	76.72	///	///
400	///	///	///	1445	3.38	1.73	0.263	52.6	0.248	94.22	///	163
401	///	///	1350	///	3.36	///	0.206	41.2	0.169	82.21	///	166
402	///	///	///	1435	3.40	1.74	0.107	21.4	0.098	91.67	///	159
403	///	///	1300	1445	3.37	1.67	0.254	50.8	0.251	98.81	///	156
404	///	///	///	1450	3.38	1.65	0.168	33.6	0.119	70.83	///	174
405	///	///	///	1445	3.35	1.70	0.169	33.8	0.144	85.20	///	///
406	///	///	1250	///	3.40	1.72	0.139	27.8	0.105	75.54	///	159
407	///	///	///	1455	3.43	1.71	0.378	75.6	0.344	91.01	///	163
408	///	///	1200	1435	3.25	1.73	0.376	75.2	0.335	89.10	///	///
409	///	///	///	1445	3.39	1.71	0.197	39.4	0.168	85.18	///	///
410	IV	0.3	1440	1455	3.20	1.84	0.094	31.3	0.076	80.85	C	149
411	///	///	///	///	3.26	1.86	0.100	33.3	0.079	79.00	///	139
412	///	///	1400	1445	3.31	1.88	0.157	52.3	0.132	84.07	A	149
413	///	///	///	///	3.29	1.90	0.105	35.0	0.087	82.85	///	156
414	///	///	1350	1440	3.24	1.92	0.124	41.3	0.096	77.42	///	149
415	///	///	///	1445	3.26	1.90	0.131	43.6	0.105	80.15	///	///
416	///	///	1300	1440	3.33	1.89	0.105	35.0	0.082	78.10	///	///
417	///	///	///	1445	3.24	1.90	0.093	31.0	0.067	72.04	///	///
418	///	///	1250	1440	3.25	1.88	0.016	5.3	0.010	62.50	C	212
419	///	///	///	///	3.31	1.91	0.105	35.0	0.095	90.48	A	156
420	V	0.3	1300	1430	3.29	1.92	0.110	36.7	0.098	89.09	///	149
421	///	///	///	///	3.33	1.88	0.149	49.7	0.121	81.21	///	///
422	///	///	///	///	2.66	1.79	0.145	48.3	0.115	77.18	B	156
423	///	///	///	///	2.68	///	0.063	21.0	0.050	79.37	///	192
424	///	///	///	///	2.22	1.90	0.108	36.0	0.105	97.22	D	255
425	///	///	///	///	2.12	1.76	0.105	35.0	0.084	80.00	///	248
426	VI	0.3	1300	1520	3.20	1.96	0.194	64.7	0.156	80.54	A	163
427	///	///	///	1540	3.12	2.06	0.223	74.3	0.197	88.35	///	159

Duration of time at heating temperature: 15mn

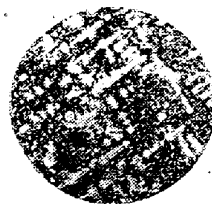
Table 9. Influence of duration of time at maximum heating temperature.

Exp. No.	Duration of time at maximum heating temp. (mn)	Maximum heating temp. (°C)	Composition of cast iron specimens (%)			Yield of Ti (%)	Ti as TiC (%)	Graphite structure	B.H.N.
			T.C	Si	Σ Ti				
428	5	1430	3.27	1.90	0.064	21.3	0.053	B~C	142
429	///	///	///	1.89	0.056	18.7	0.045	///	///
430	15	1435	///	1.91	0.081	27.0	0.058	B	149
431	///	///	3.30	1.90	0.090	30.0	0.069	A	152
432	30	1430	3.29	1.92	0.110	36.6	0.098	///	163
433	///	1435	3.27	1.90	0.095	31.7	0.079	///	152

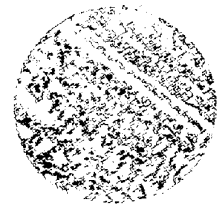
Quantity of Ti added Cu-Ti alloy :0.3%, Casting temp.: 1300°C.



Specimen No. 341
T.C=3.48%, Si=1.86%, Ti=0.089%
Treated with metallic Ti,
No etching $\times 90$, (1/3)
Photo. 3.



Specimen No. 323
T.C=3.41%, Si=1.78%, Ti=0.048%
Treated with metallic Ti,
No etching $\times 90$, (1/3)
Photo. 4.



Specimen No. 327
T.C=3.39%, Si=1.70%, Ti=0.025%
Treated with metallic Ti,
No etching $\times 90$, (1/3)
Photo. 5.

Table 10. Composition of S-H cast iron specimens.

Exp. No.	Cooling condition	Composition of S-H cast iron specimens (%)			Ti as TiC (%)	Ratio of Ti as TiC to Σ Ti (%)	Graphite structure
		T.C	Si	Σ Ti			
96	Casting temperature 1300°C	3.93	1.53	0.221	0.154	69.69	A
99	//	3.10	1.60	0.147	0.115	77.70	//
101	//	2.73	1.65	0.118	0.084	71.10	B
111	//	3.38	2.34	0.133	0.094	70.15	A
113	//	3.60	1.77	0.185	0.135	72.58	//
119	Slow cooling in furnace	3.45	1.66	0.170	0.103	60.23	D
	//	3.61	1.25	0.128	0.092	71.68	//

Ti 量が大なる場合である。しかしながら本報告における各実験結果から Ti 添加処理によつて製造した含 Ti 共晶黒鉛鑄鉄中の Σ Ti の大部分もまた予想のとおり S-H 鑄鉄と同様に TiC として存在することが認められた。今各種試料の TiC としての Ti と Σ Ti との関係を示すと Fig. 1 のごとくである。なお同図の中に S-H 鑄鉄試片 (第 III 報¹⁷⁾参照) を試料として Ti の態別定量を行つた結果 (第 V 報¹⁸⁾参照) を参考のために附記した。この S-H 鑄鉄の成分および冷却条件は Table 10 のごとくである。この図から鑄込温度 1200°C ~ 1400°C の場合、A または B なる共晶黒鉛組織を有する鑄鉄を得るには鑄鉄中に TiC としての Ti を基準にとると安全率を考慮しこれを概ね 0.05% 以上含有せしめることが必要であることが知られた。

IV. 総括

以上の実験結果を総括すれば次のごとくである。

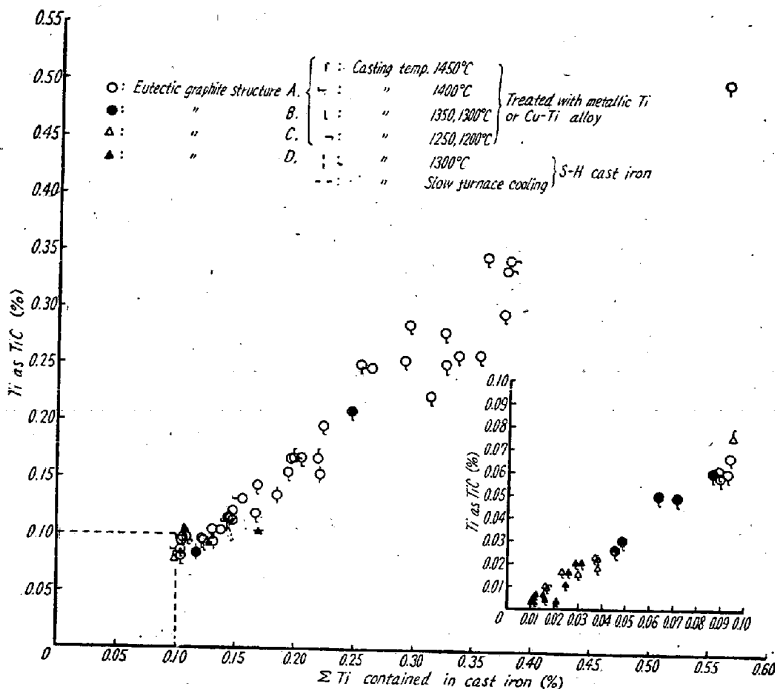


Fig. 1. Relation between Σ Ti and Ti as TiC.

1. S-H 鑄鉄製造の最適条件を参考として、C 約 3.5%, Si 約 1.8% の鑄鉄浴をタンマン炉中で約 1400°C ~ 1450°C に保ちこれに Ti を金属 Ti, フェロ Ti あるいは Cu-Ti 系合金を用いて添加し同温度に 15mn 保持した後、鑄込温度 1300°C で直径 25 mm の乾燥砂型に鑄造した。

(i) 鑄造した含 Ti 鑄鉄試片の現わす共晶黒鉛組織は TiC としての Ti 含有量が約 0.05% 程度以上であれば完全あるいはほとんど完全に近いものが得られる。この Σ Ti の主成分は TiC であつてこれが Σ Ti に対して占める割合は約 70~80% あるいはこれ以上である。

(ii) 上記の試片で TiC としての Ti 含有量が約 0.05% 以下である場合の共晶黒鉛組織は C あるいは D で不完全である場合が多く、 Σ Ti に対して TiC が占める割合も約 50% あるいはこれ以下であることが多い。

(iii) 添加した Ti の歩留りは平均約 50% 以下であつて歩留率も一定しがたい。

2. 鑄込温度を 1200, 1250, 1300, 1350, 1400 および 1450°C のごとく変化してその他の条件は (1) と同様にして実験した結果、鑄込温度約 1450°C 附近である場合にはこれが共晶黒鉛組織に影響をおよぼすことが知られた。その他の鑄込温度のおよぼす影響はほとんど認められない。

3. フェロ Ti を添加して Ti を約 0.3% 程度含有せしめ完全な共晶黒鉛組織を有する含 Ti 鑄鉄をタンマン炉内で約 1400°C ~ 1450°C の温度でたとえ 60mn 間保つてもこれを 1300°C で鑄造すれば鑄造試片の現わす共晶黒鉛組織は完全である。これは同様の実験で S-H 鑄鉄が示した性状と同一であり、Ti を含まない金型急冷法で製造した共晶黒鉛鑄鉄と異なるところである。

4. C および Si, ならびに Ti を同程度

含有する S-H 鑄鉄と本報告における実験で得た含 Ti 鑄鉄とのブリネル硬度を比較すると S-H 鑄鉄の方がはるかに大である。ただしその理由は不明である。

謝 辞

擱筆するに際し本実験に用いた金属 Ti を寄贈された K.K. 神戸製鋼所研究部長高尾善一郎氏, Cu-Ti合金製作に関し便宜をはかつて頂いた京都大学教授村上陽太郎博士ならびに木村啓造博士に対し深謝の意を表す。なお実験, 分析に終始熱心に協力して下さった京都大学化学研究所中川三三, 石川巖および平井彩子の諸氏ならびに本研究費の一部を御援助下さった K.K. 神戸鑄鉄所に厚く御礼を申上げる次第である。

文 献

- 1) 沢村宏, 津田昌利: 鉄と鋼, **38** (1952) 150; **39** (1953) 984; **40** (1954) 622; **40** (1954) 986, 鑄物, **28** (1956) 1, 日本鉄鋼協会第 51 回講演会において発表, 本誌寄稿中
- 2) A. Joukainen, N. J. Grant, C. F. Floe: J. of Metals, (1952) 766
- 3) 沢村宏, 津田昌利: 鉄と鋼, **39** (1953) 984
- 4) 前出 (3)
- 5) 沢村宏, 津田昌利: 鉄と鋼, **38** (1952) 150
- 6) Piwowarsky: Hochwertiger Grauguss, (1929) 279, Abb. 248
- 7) 小川喜代一, 柴田孝夫: 東京都立工業奨励館, **2** (1953) 41
- 8) 沢村宏, 津田昌利: 鉄と鋼, **40** (1954) 622
- 9) 前出 (3)
- 10) 沢村宏, 津田昌利: 鉄と鋼, **40** (1954) 986
- 11) 沢村宏, 津田昌利: 日本鉄鋼協会第 51 回講演会発表, 本誌寄稿中
- 12) 前川静弥, 山下健: 鑄物, **24** (1952) 11
- 13) G. F. Comstock: Titanium in iron and steel, (1955) 82; T. Amer. Foundrym. Ass., **41** (1933) 278
- 14) Piwowarsky: Stal u. Eisen, **43** (1923) 1941., **45** (1925) 289
- 15) Starkweather: T. Amer. Foundrym. Ass., **45** (1938) 816
- 16) 沢村宏, 盛利貞, 津田昌利: 日本鉄鋼協会第51回講演会発表, 本誌寄稿中
- 17) 前出 (8)
- 18) 前出 (16)