

金との脱酸能を、規定の溶銑において比較したところ、前者の脱酸能は後者に比較して大きいことが認められた。その試験において、後者の取鍋添加後の溶銑中の酸素は、逆に増大した。この現象はその合金の酸素の持込量が、溶銑の酸素含有量に対して、大き過ぎたことによると解釈する。

文 献

- 1) B. MARINCEK, R. LIMPACH: Kongress-Vorträge (27. International Giesserei-Kongress Zürich 1960), p. 153~165.
- 2) 後藤, 武山: 金属学会講演概要 (昭和39年度春期大会), p. 139.
- 3) 大谷, 三本木: 鉄と鋼, 49 (1963), 1, p. 22~29.
- 4) W. A. FISCHER, H. SPITZER: Arch. Eisenhüttenw., 30 (1959), 9, p. 523.

669.131.7; 669.111.225
 (56) 鑄鉄における球状黒鉛生成の条件について No. 64218

東北大学金属材料研究所
 工博 音谷 登平・○工博 丸山 益輝
 東北特殊鋼 PP/695~1397
 柏原光陽・和泉純夫・松本二郎

Conditions of Spheroidal Graphite Formation in Cast Iron.

Dr. Tohei OTOTANI, Dr. Masuteru MARUYAMA,
 Kōyō KASHIWABARA, Sumio IZUMI,
 and Jirō MATSUMOTO.

I. 結 言

著者らは、最近大気中の溶解による溶銑に対して、単に、Fe-Si 合金を添加することによつて、完全な球状黒鉛鑄鉄が工業的に得られることを発表した¹⁻³⁾。

従来球状黒鉛鑄鉄は、Mg, Ce および Ca などが球状化元素と考えられ、その添加によつて溶製されてきた。したがつて鑄鉄における球状黒鉛の主成機構に関する学説も、球状化元素の黒鉛に対する吸着説⁴⁾や転位説⁵⁾、またはそれら元素のカーバイド、酸化物および硫化物を、球状黒鉛核と考える核説⁶⁻⁸⁾などのように、球状化元素またはその化合物の存在に結びついているものが多い。

これらに対して谷村ら⁹⁾は、球状化元素として Ce¹⁴¹ および Ca⁴⁵ を用い、ラジオオートグラフによつてその追求をしたところ、球状化元素は黒鉛に吸着せず、主として結晶粒界の共晶組織の中に濃縮していたと述べており、一方奥本ら¹⁰⁾は微小部 X 線分析装置によつて、Ce, Ca 処理した球状黒鉛鑄鉄の Ce, Ca の存在位置について探査したところ、Ce, Ca は黒鉛球の周辺に存在するものと考えられると述べている。

球状化元素の存在位置が何処にせよ、Si 添加によつて球状黒鉛鑄鉄が得られる事実から、鑄鉄における球状黒鉛の生成機構に関する研究の中で、球状化元素の存在に結びついたものについては、一概に是認するわけにはいかなくなった。しかし Si 添加による球状黒鉛鑄鉄の

製造において、一般に使用する Fe-Si 合金は精錬されたものであるので、精錬過程において CaO の分解に基づく Ca の混入があり、その量は通常 2~3%程度である。したがつて純粋な Si 添加によるものではなく、球状黒鉛の生成においても混入 Ca の作用を無視するわけにはいかない。本来 Fe-Si 合金精錬の目的は、その酸化物含有量の減少にあつたが、はたして酸化物含有量の減少が、球状黒鉛の生成をもたらすものであるか、あるいは混入 Ca がそれを支配するものであるかが、本研究の焦点となつたわけである。そこで著者らは黒鉛球状化能がさまざまに異なる Fe-Si 合金中の、Ca および酸化物を定量し、球状黒鉛生成に対する添加 Fe-Si 合金中の酸素、Ca などの影響を調べ、それに基づいて球状黒鉛生成の条件を考察した。

II. 実験方法

普通の Fe-Si 合金とそれを精錬した Fe-Si 合金を、それぞれ規定同一条件の溶銑に添加し、その黒鉛の球状化能におよぼす添加 Fe-Si 合金中の酸素、Ca 含有量などの影響を求めた。

供試 Fe-Si 合金は Table 1 に示す普通の Fe-Si 8 種類 (記号 A-1~8) と、精錬 Fe-Si 15 種類 (記号 B-1~15) の計 23 種類である。

精錬 Fe-Si の中には、十分に精錬されたもののほかそうでないものも含まれている。なお Table 1 に示す合金中の酸素含有量は、酸化物定量による値である。

酸化物定量法は、本講演会において発表する菅野らによる別報に示す方法によつた。

これら供試 Fe-Si 合金は、何れも下記条件の溶銑 10

Table 1. Analysis and faculty of spheroidal graphite formation of Fe-Si.

Classification	Mark	C	Analysis (wt. %)				Faculty of spheroidal graphite formation	
			Si	Al	Ca	O	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)
Usual Fe-Si	A-1	0.04	75.40	2.05	0.32	0.043	29.1	0.2
	-2	0.06	63.40	1.27	0.16	0.093	25.6	0.2
	-3	0.03	76.48	0.51	0.05	0.023	33.6	0.4
	-4	0.04	75.27	1.18	0.16	0.079	47.6	1.0
	-5	0.03	77.36	2.25	0.53	0.142	30.4	1.0
	-6	0.02	75.24	1.23	0.26	0.103	40.2	0.8
	-7	0.15	75.76	1.98	0.26	0.028	45.7	1.2
	-8	0.35	77.77	2.23	0.58	0.155	43.1	1.2
Refined Fe-Si	B-1	0.02	76.40	0.13	2.07	0.019	50.6	1.8
	-2	0.01	76.80	0.19	2.34	0.011	53.9	1.8
	-3	0.01	77.20	0.15	1.86	0.021	72.7	2.8
	-4	0.02	76.60	0.11	1.60	0.007	77.7	3.8
	-5	0.02	65.00	0.20	2.37	0.011	74.4	3.4
	-6	0.02	58.10	0.26	5.28	0.005	72.1	2.8
	-7	0.02	59.00	0.20	2.00	0.007	71.5	2.4
	-8	0.03	62.40	0.41	2.34	0.011	75.0	3.2
	-9	0.02	64.45	0.32	7.19	0.026	42.2	0.6
	-10	0.03	73.64	1.21	1.38	0.030	68.8	1.6
	-11	0.05	66.20	0.75	5.14	0.057	36.1	1.0
	-12	0.03	64.80	0.84	8.12	0.089	40.8	1.6
	-13	0.03	65.12	0.76	0.46	0.021	65.7	2.2
	-14	0.03	66.81	0.81	0.61	0.015	66.7	2.4
	-15	0.06	71.35	0.88	0.36	0.016	73.4	3.4

kg に対して 3% ずつ添加し、それを JIS A号 (25 mm) キールブロックに鑄込み、それから JIS 4号引張試験片を削りとつた。この鑄放しの引張り強さを、その添加 Fe-Si 合金の黒鉛球状化能とした。

一溶銑の溶解条件一

溶解炉：50kg 塩基性エルー式アーク炉

溶解量：50kg

素材：C 0.46%, Si 0.19%, Mn 0.43%,
P 0.010%, S 0.018%, Cr 0.02%,
Cu 0.20%, の組成の鋼屑のみ。

加炭剤：コークス粒 3.8kg

溶落時の溶銑中の C : 3.9~4.2%

造滓剤：石灰石および螢石を 4 : 1 の比率で使用。

炉内成分調整：JIS 2号 Fe-Si 合金を Si 分で 0.6 ~1.1% 添加し、最終製品の Si の含有量が 2.49~3.18% になるようにした。

最高溶解温度：1,470~1,500°C

出湯温度：1,460~1,480°C

Fe-Si の取鍋添加：炉から 100kg 取鍋に溶銑全量 (50kg) を出湯後、10kg ずつ湯汲みに分湯し、分湯に際し表面添加法によつて Fe-Si 合金を添加した。

(備考) 製品の主要成分範囲 (%)

C 3.41~3.88, Si 2.49~3.18, S < 0.008

III. 実験結果

供試 Fe-Si 合金の黒鉛球状化能を示す鑄放しの引張り強さを Table 1 をに示した。Table 1 に示す結果から、供試 Fe-Si 合金中の Al 含有量と引張り強さとの間には、相関関係は認められない。

Fig. 1 は Fe-Si 合金中の Ca 含有量と、その合金を添加した鑄鉄の鑄放し引張り強さとの関係を示した図である。この図において、Ca 含有量の高いものは 8% におよんでいるが、その含有量と引張り強さとの間には、相関関係が認められない。Ca 自体黒鉛の球状化元素と考えられてもおり、著者らはこれら合金中の Ca の大部分が、Ca₂Si の相として存在していることを X線マイクロアナライザーによつて確かめたので、合金中の Ca は球状黒鉛の生成に対してプラスに作用するものと思われる。しかし Fig. 1 において相関関係が成立して

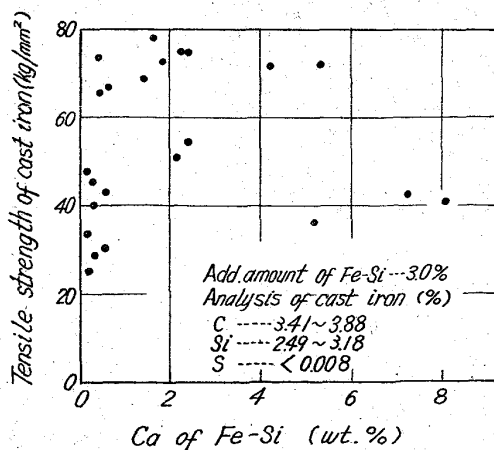


Fig. 1. Relation between Ca content of Fe-Si and tensile strength in cast iron.

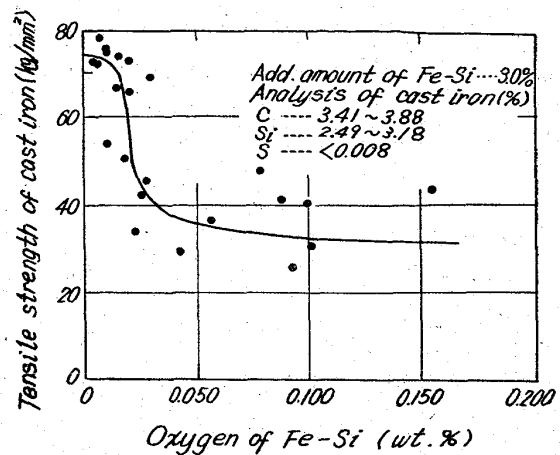


Fig. 2. Relation between oxygen content of Fe-Si and tensile strength in cast iron.

いないのは、球状黒鉛の生成に対して Ca 含有以上に強力な別の因子が作用していることと解釈できる。

Fig. 2 は Fe-Si 合金中の酸素含有量と、その合金を添加した鑄鉄の鑄放し引張り強さとの関係を示した図である。この図に示す酸素含有量と引張り強さとの間には、危険率 1% で負相関関係が成り立ち、その回帰直線は $y = -0.033x + 71.4$ となっている。しかし実際には酸素含有量と引張り強さの間には、図に示す曲線で現わされるような関係があると思われる。

以上に示す添加合金中の、Al, Ca および酸素含有量と、その黒鉛球状化能を示す引張り強さとの関係から、鑄鉄の黒鉛球状化を支配するものは、Fe-Si 合金中の酸素含有量であることが明白となつた。

IV 実験結果の考察

Fe-Si 添加による鑄鉄の球状黒鉛生成におよぼす添加合金中の、Al, Ca および酸素含有量の影響を調べた結果、酸素含有量が支配的な因子であることがわかつた。したがつて球状黒鉛生成において、Ca のような球状化元素の存在を必ずしも必要としないと考えられる。著者らは鑄鉄における球状黒鉛生成の条件は、結論としてある程度以上の脱硫、脱酸に帰すると考える。本実験における鑄鉄中の硫黄含有量は、何れも前述のように 0.008% 以下であつたが、Fe-Si 添加による鑄鉄の球状黒鉛生成に対する硫黄含有量の影響は、丸山らの報告 (11~12) とほぼ一致しており、その許容限界量はほぼ 0.020% である。Fig. 2 に示すように、添加 Fe-Si 合金中の酸素含有量がほぼ 0.020% 以下であれば、球状黒鉛が生成することがわかるが、それは先の著者らの報告 (1) で詳述したように、酸素含有量の低い Fe-Si 合金は溶銑の脱酸能が大きく、溶銑中の酸素含有量がほぼ 0.0010% 以下になることによる。

著者らは、50kg 塩基性エルー式アーク炉において溶解した C 4.06%, Si 1.59%, Mn 0.62%, P 0.128%, S 0.007%, 温度 1,505°C の溶銑を、接種せずそのまま φ 15 の砂型に鑄込んだ試験片を検鏡したところ、ほぼ完全な球状黒鉛組織であることを認めた。なおこの溶銑は、還元期の最高溶解温度 1,550°C の高温精錬の過程を経た直後に採取したものである。この事実

は鑄鉄における球状黒鉛生成の基本条件が脱硫, 脱酸であることを裏付けているものと思う. したがって接種あるいは急冷などの操作は, 黒鉛の球状化を促進または容易ならしめるものであるが, その基本条件ではないと考えられる.

そこで鑄鉄における球状黒鉛生成の機構について考察すると, 著者らは界面エネルギー説¹³⁻¹⁴⁾を支持するのが適当と思われる. 文献¹⁵⁾によつても明らかなように, Mg, Ce および Ca など, 球状化元素の添加による鑄鉄における球状黒鉛の生成機構は, その元素の添加による脱硫, 脱酸にもとずいて, 溶鉄中の晶・析出黒鉛と, それを囲む銑との界面エネルギーが増大することによる. 溶鉄の表面張力に対する硫黄, 酸素の影響は, 門間らの研究¹⁶⁻¹⁹⁾によつて明かなように, その量の増加にともなつて表面張力が低下することが知られている. したがって球状化元素でない Si の添加によつても, ある程度以上の脱硫, 脱酸が進行すれば, 溶鉄の表面張力が増大し, この機構によつて球状黒鉛が生成するものと考えられる.

V 結 言

Fe-Si 添加の鑄鉄における添加合金中の Al, Ca および酸素含有量と, その黒鉛球状化能との関係を調べた結果, その球状黒鉛の生成を支配する因子は, 添加合金中の酸素含有量であることがわかつた.

これらのことから, 鑄鉄における球状黒鉛生成の条件は, その脱硫, 脱酸に帰すると考えられる.

したがって球状黒鉛生成の機構は, 黒鉛とそれを取り囲む銑との界面エネルギーによつて説明するのが, 当を得ているように思われる.

文 献

- 1) 音谷, 丸山, 松本, 和泉, 柏原: 鑄物, 36 (1964), 4, p. 161~162.
- 2) 音谷, 丸山, 松本, 和泉: 鑄物, 36 (1964) 4, p. 162~164.
- 3) 音谷, 丸山, 松本, 和泉, 柏原: 鑄物, 36 (1964), 4, p. 164~165.
- 4) H. MORROGH: B. C. I. R. A. J'l Resarch & Develop, 3 (1950), p. 251~298.
- 5) M. HILLERT, Y. LINDBLOM: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 176 (1954), April, p. 388~390.
- 6) A. L. Desy: Metal Progress, 57 (1950), p. 774~775.
- 7) A. HULTAGREN, G. ÖSTBERG: J. Iron & steel Inst. (U. K.), 176 (1954), April, p. 357~365.
- 8) J. E. Rehder: Amer. Foundrym., 21 (1952) Feb, p. 44~48.
- 9) 谷村, 松田, 和栗: 鑄物, 33 (1961), 4, p. 260~265.
- 10) 奥本, 飯島: 鑄物, 35 (1963) 12, p. 728~738.
- 11) 丸山, 土井: 鑄物, 31 (1959) 9, p. 793~799.
- 12) 丸山, 原: 鑄物, 34 (1962) 5, p. 387~395.
- 13) F. H. BUTTNER, H. F. TAYLOR, J. WULFF: Amer. Foundrym., 20 (1951) Oct. 49~50.
- 14) J. KEVERIAN, H. F. TAYLOR, J. WULFF: Amer. Foundrym., 23 (1953) June 85~91.
- 15) MILMAN, B. S.: LITEJNOJE Prciswoástwo (1958), p. 11~17.

- 16) 門間, 須藤: 学属学会誌, 24 (1960) 6, p. 374~377.
- 17) 門間, 須藤: 金属学会誌, 24 (1960) 6, p. 377~379.
- 18) 門間, 須藤: 金属学会誌, 24 (1960) 9, p. 611~614.
- 19) Pohl, D., Scheil, E: Giesserei, 43 (1956) 26, p. 833~839.

621.74.047; 621.746.628; 536.21

(57) 連続鑄造における凝固過程の解析用アナログ型熱伝導シミュレーター

(連続鑄造に関する研究-I)

八幡製鉄所, 技術研究所

理博 吉田 秋登・○守末 利弥・川口 正

Analog Simulator for the Analysis of the Steel Ingot Solidification Process in the Continuous Casting Plant.

(Study on the continuous casting - I)

Dr. Akito YOSHIDA, Toshiya MORISUE and Tadashi KAWAGUCHI.

I. 緒 言

複雑な熱伝導問題を解析する方法としていろいろあるが, その一つとして熱伝導現象をこれと相似な他の物理現象に置換して解析する方法, すなわち, 電気式 analog-simulator による方法をあげ, この simulator を連続鑄造における凝固過程の解析に応用する原理について述べる.

その基本となる原理は, 熱系における熱抵抗, 熱容量, 温度をそれぞれ, 電気系の電気抵抗, 電気容量, および電圧に置換するものである.

連続鑄造の研究に対しては, これらのほかに境界条件を simulate する附加装置がある. そのおもなものは, i) Spray cooling zone をリレー回路によつて, ii) Natural cooling zone の鋼片表面からのふく射伝熱, および対流伝熱を任意関数発生器によつて境界条件を模擬する装置である. これら具体的な原理について述べる.

II Analog Simulation の原理

1) 熱伝導方程式の近似, および simulation.

一次元熱伝導方程式は周知のように, 次の偏微分方程式によつて表わされる. ここで考察する鋼片の場合は,

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial T(x, t)}{\partial t} &= a \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq L \\ T(x, 0) &= \text{const.} = \text{initial condition} \\ T(0, t) &= T_0(t) = \text{boundary condition} \\ \left(\frac{\partial T(x, t)}{\partial x} \right)_{x=L/2} &= 0 \end{aligned} \right\} (1)$$

ただし T = 温度

t = 時間

x = 鋼片の厚み方向の長さ

a = k/cρ = 温度伝導率

κ = 熱伝導率

c = 比熱