

ている。これを Photo. 2 に示した。

Zone melting において試料とコイルを固定した場合の固液共存実験では、Photo. 1, 3, 4 に示すように、溶解すると（変態点をこえると）ただちに黒鉛は細かい粒状黒鉛になり、球状化黒鉛が形成されている。溶解時間が 30sec (Photo. 2), 5 min (Photo. 3), 7 min (Photo. 4) の場合を比較すると、5 min および 7 min のものがよく球状化している。30sec 溶解したものは、溶解した部分に粒状化に到る過程の長形の黒鉛が残っている Photo. 3(2)。また溶解直前に黒鉛が著しく粗大化する現象はとくに注目される (Photo. 3 の(4) および Photo. 4 の(3))。

コイル中の試料を移動させ、くり返し何回か Zone melt する場合の実験では、Photo. 5 に示すように、繰り返し Zone melt する回数が多くなると（変態点の上下を繰り返し加熱冷却すると）、過共晶組成の片状黒鉛は、Zone melt の繰り返し回数が多くなるとともに太く短くなり、8 回 Zone melt した Photo. 5 (4) は微細な粒状黒鉛のみになり、大きな片状黒鉛は消失している。しかし処々にその痕跡らしきものが認められる。

以上要するに、タンマン炉においても Zone melting の場合にも、固液共存温度で溶解した後に凝固した（変態点以上の温度に上げてから冷却した）試料中には、黒鉛の球状化が認められる。固液共存温度の直下（変態点の直下）の温度に保持した固相の試料中にも、黒鉛の球状化が認められる。

銑鉄の固液共存温度付近における黒鉛の挙動は、鋼中の層状セメントタイトが  $A_1$  変態温度付近で球状化する場合と同様の傾向を示すことが認められた。ただし固液共存温度付近は、 $A_1$  温度付近よりかなり高温であるから、球状化に要する所要時間が短くてよい。

球状黒鉛鑄鉄は、球状化添加金属 (Ce, Mg, Ca, Zn, Sb など) をある程度以上残留するように添加して、普通鑄鉄の片状黒鉛組織を球状黒鉛組織に変えたものである。本実験においては、Photo. 1(4), Photo. 2, Photo. 4 の(2), (4) などにみられるごとく、その球状化黒鉛組織は球状黒鉛鑄鉄の黒鉛組織のごとく完全に球状化したものではなく、地にこまかい粒状黒鉛が含まれている。しかし本実験では、球状化添加金属を加えることなく、球状黒鉛が形成されている。その球状化のメカニズムは、鋼の場合の球状セメントタイトの形成と同様なメカニズムが考えられるが、銑鉄の場合の黒鉛球状化は固液共存温度付近で行なわれるから、球状化が容易で、形状的に球状化が容易であるばかりでなく、球状化の所要時間も短くてすむものと考えられる。

銑鉄中の黒鉛は、球状化添加金属を添加しなくとも、本来球状化しうる性質をそなえていることが、本実験によつて明らかになった。

## 5. 結 言

水平式 Zone melting 装置およびタンマン炉にて、固液共存温度付近における黒鉛組織の挙動を調べ次の結論をえた。

- 1) 銑鉄の固液共存温度付近における黒鉛の挙動は、

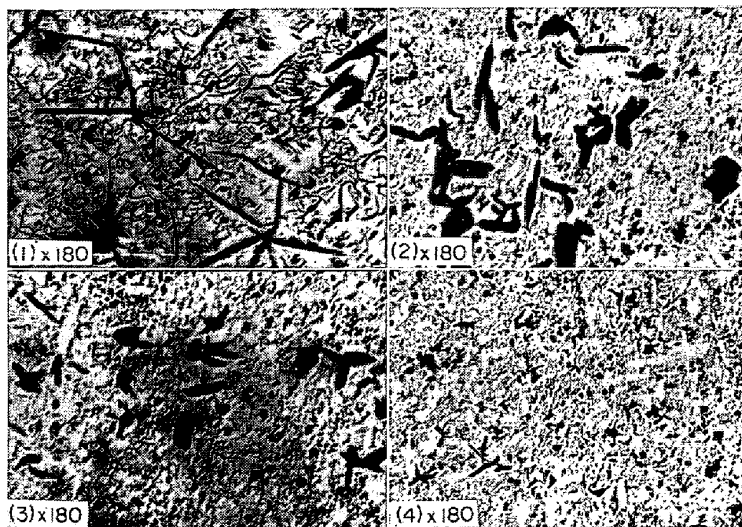


Photo. 5. Effect of repeated zone melting.

- (1) Base sample (2) Photo. of one repeated zone melted (3) Photo. of four repeated zone melted (4) Photo. of eight repeated zone melted (2/3)

鋼中の層状セメントタイトが  $A_1$  変態温度付近で球状化する場合と同様の傾向を示すが、温度が高いから球状化が比較的容易である。

2) 固液共存温度で短時間溶解した銑鉄の試料中には、黒鉛の球状化が認められる。

3) 固液共存温度の直下に保持した固相の試料中には、黒鉛の球状化が認められる。

4) 銑鉄中の黒鉛は、球状化添加金属を加えなくとも、本来、球状化しうる性質をそなえていることを認めた。

本実験の溶解試験に参加した光安拓治君およびダリルス・テネク君に謝意を表す。

## 文 献

- 1) The International Encyclopedia of Physical Chemistry and Chemical Physics.  
J. A. BARKEN: Lattice Theories of the Liquid State, Pergamon Press, 1963,
- 2) 鉄鋼便覧, P 12

## (224) 溶融鑄鉄からの球状黒鉛の晶出について

(鑄鉄の黒鉛発生論に関する研究—I)

千葉工業大学

工博○岡田厚正・大塚教夫・北田昌邦

On the Crystallization of Spherical Graphite Frozen from Molten Cast Iron.

(Study on the graphitization of cast iron—I)

Dr. Atumasa OKADA, Michio OHTUKA  
and Masakuni KITADA.

## 1. 緒 言

鑄鉄製品の連続鑄造、たとえば溶融鑄鉄をロールの間を通して凝固させて板を作る場合には、溶湯が低温でし

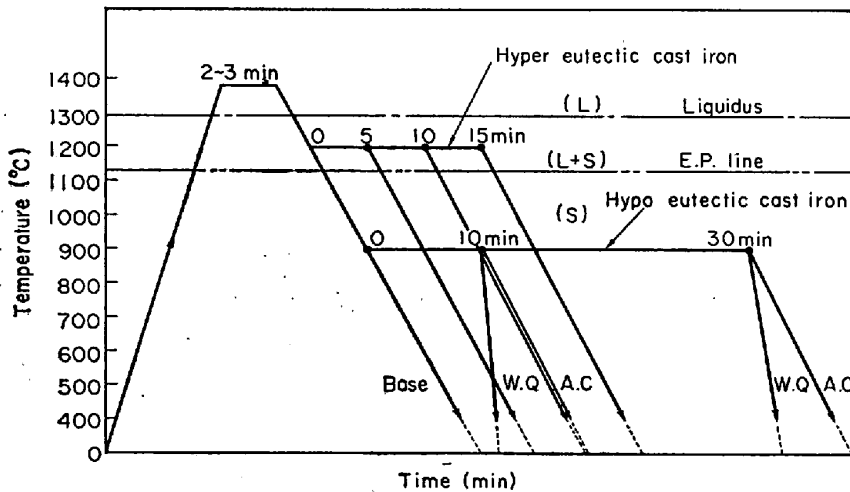
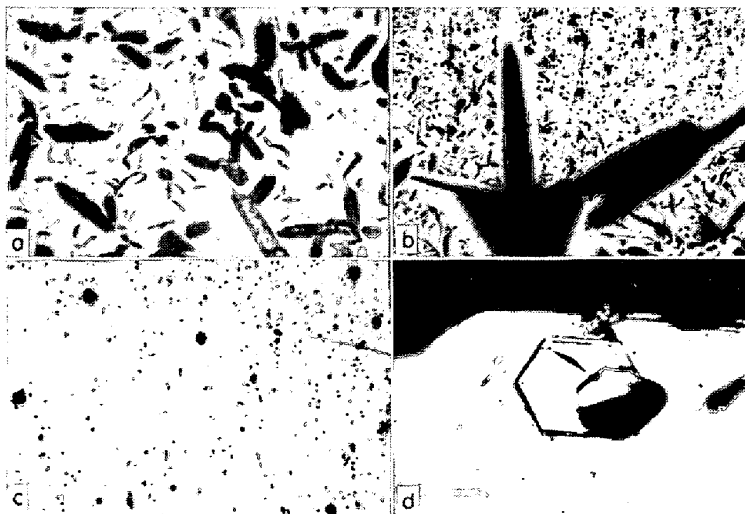


Fig. 1. Heating and cooling curve of specimen.



a) As cast, b) 1200°C, 5 min. b) 1200°C, 10 min. c) 1200°C, 15 min.  
Photo. 1. Microstructure of hypereutectic cast iron. (Unetched,  $\times 60$ ) (3/5)



a) End of sample b) Boundary c) Zone melted range ( $\times 60$ )  
d) Graphite crystallized in molten Al ( $\times 400$ ) (3/5)

Photo. 2. Microstructure of zone melted hypereutectic cast iron. (Unetched)

かも一定温度に保持されていることが望ましい場合も考えられる。また鑄鉄のダイキャストの場合にも、金型の寿命を考慮して同様のことが望ましい場合も考えられる。鑄鉄の黒鉛組織に関する研究はきわめて数多くみられ、黒鉛発生に関する理論も深く研究され、鑄鉄の凝固点付近の温度から冷却した場合についても研究されている<sup>1)~3)</sup>。

しかし、溶融鑄鉄を固液両相共存の温度付近に保持して黒鉛組織の変化をしらべた研究は見当たらない。

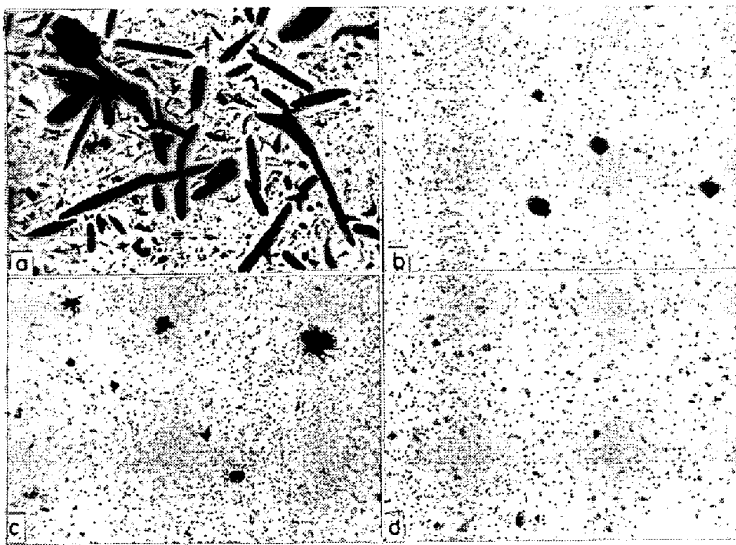
著者らはかような点を考慮して過共晶および亜共晶組成の鑄鉄を溶解し、溶湯をそれぞれ共晶温度直上および直下の温度に一定時間保持して黒鉛の晶出をしらべ、球状化处理を施さない普通の鑄鉄の溶湯からここにのべる方法によつて球状黒鉛が晶出することを明らかにした。

## 2. 試料および実験方法

高周波電気炉によつて電解鉄に電極屑で加炭して4.1% Cの純度高いフェロ炭素を溶解し、これに果糖炭または電解鉄を加えて4.7% Cおよび3.2% Cとし、さらにSiをそれぞれ約2%および1%添加して直径約10 mm  $\phi$ 、長さ約50 mmの乾燥砂型に鑄込んで実験に供した。

過共晶組成の試料は内径12 mm  $\phi$ の黒鉛質タンマン管に入れ、高周波電気炉によつて1380°Cに加熱溶解し、あらかじめ1200°Cすなわち2相共存域内の温度に予熱されているエレマ炉内にタンマン管を移して、試料をその温度に5, 10, 15 minの各時間保持後空冷して黒鉛組織を観察した。加熱および冷却曲線はFig. 1のとおりである。過共晶試料の溶解には上記のほか、固液共存状態の保持の容易な帯域溶解(Zone melt)法を採用した。この装置は50 mm  $\phi$   $\times$  1 mの透明シリカチューブの中央部にアルミナ製ボートにのせた約30 mmの長さの前記過共晶試料を挿入し、シリカチューブの中央部の外側に捲いてある高周波コイルによつて試料を誘導加熱して溶解するもので、試料が全部溶解してから高周波電流を減少せしめると、試料の両端部から凝固が始まり、この状態に保持すれば試料の中央部は両端の固体部分と接しながら溶融状態を保ち、固液共存温度に保持されることになる。また、帯域溶解装置のシリカチューブ内部は雰囲気調節ができるようにしてあるので、ここでは帯域溶解中の溶解雰囲気をN<sub>2</sub>, Ar. および真空にかえて黒鉛組織におよぼす雰囲気の影響をしらべた。

亜共晶組成の試料の場合にも溶解温度は1380°Cとし、これをFig. 1に示すとおり900°Cに予熱されているエレマ炉内に移して10 minおよび30 min保持した。保持時間を900°Cにしたのは共晶点において晶出した黒鉛が共晶直下の温度に保持されることによつてどのように変化する



a) As cast b) Zone melted in  $N_2$  c) Z. M in Ar d) Z. M in vacuum  
 Photo. 3. Effect of melting atmosphere to graphite structure of zone melted hypereutectic cast iron. (Unetched,  $\times 60$ ) (3/5)



a) As cast b) 900°C, 10 min W. Q. c) 900°C 30 min W. Q.  
 d) 900°C, 30 min. A. C.

Photo. 4. Microstructure of hypereutectic cast iron. (Unetched,  $\times 60$ ) (3/5)

かをみるためであり、保持時間終了後の試料は水冷して直後の黒鉛組織をしらべ、さらに同一試料を空冷して初析黒鉛の析出状態をしらべた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 過共晶鋳鉄についての実験

この実験に用いた過共晶の純 Fe-C-Si 試料は  $1380^\circ\text{C}$  にて溶解直後  $1200^\circ\text{C}$  まで降温し、この温度に一定時間保持することにより初晶黒鉛が微細な球状になる傾向を示した。一般にキッシュ黒鉛は片状に晶出することが知られているが、固液両相の共存温度に保持すれば黒鉛の微粒化がおこることがわかった。保持時間が永くなると、黒鉛の球状化はいつそう進行した。その状態を Photo. 1 (a)~(d) に示した。(a) は  $1380^\circ\text{C}$  から常温まで

徐冷した場合の組織であり、普通の片状黒鉛である。しかるに、これと同一試料を溶解後  $1200^\circ\text{C}$  にて 5 min 保持して徐冷すると、(b) にみられるように黒鉛の微粒化がおこった。5 min では片状黒鉛の混入がみられるが、保持時間をさらに永くした場合には、(c) および (d) のとおりほとんど球状黒鉛とみられ、片状のものはきわめて少ないことがわかる。

#### 3.2 帯域溶解法による実験

つぎに帯域溶解装置を用いて前記と同一の過共晶試料を溶解し、固液両相温度の保持をおこなった。ここに用いた帯域溶解装置では、試料の溶解帯の中が約 30 mm 程度であるので、この実験では試料の全長を 30 mm におさえてまず試料全体を溶解せしめた。溶解中の最高温度は光高温計によつて測温したところ約  $1400^\circ\text{C}$  であつた。溶解後ただちに高周波電流を減少せしめたところ、試料はその両端部から凝固を開始した。そこで電流を調節して試料の中央部約 10 mm の部分がなお溶融状態を保つようにし、中央部を測温したところ約  $1200^\circ\text{C}$  とみられ、固液両相共存域の温度を保持するものとみられた。この状態に 15 min 保持後、高周波電流を徐々に減少させて試料を徐冷せしめ、試料を縦割りにして黒鉛組織の変化をしらべたところ、試料中央部の固液共存域に保持された部位の黒鉛は微細な粒状を呈していた。しかるに同一試料の両端部の組織は粗大な片状黒鉛であり、中央部位の黒鉛とは著しい相異を示していた。Photo. 2(a) は試料端部の片状黒鉛組織にして、(b) は固液両相の境界部、(c) は試料中央部の微細球状組織である。すなわち、帯域溶解法を応用して溶融鋳鉄を固液共存温度に保持した場合にも、黒鉛の球状化の傾向が明らかに示された。

Photo. 2(d) は丸棒の試料の胴横に約 5 mm  $\phi$  の小孔をあけてここに純 Al を埋込み、その近傍を帯域溶解したときに鉄と Al の境界部の Al 側に発生した黒鉛の拡大写真である。この黒鉛は六角形状を呈しているが、この黒鉛の発生位置から考えれば、黒鉛周囲の融液が低融点の Al であるため、鋳鉄中の黒鉛より比較的自由に晶出したものとみることができる。

#### 3.3 溶解雰囲気の影響

帯域溶解装置の溶解室内に  $N_2$  および Ar をそれぞれ通入し、また排気装置により溶解室内を  $2 \times 10^{-4}$  mmHg に減圧しながら、過共晶組成の前記純 Fe-C-Si 試料を帯域溶解したところ、いずれの溶解雰囲気においても黒鉛は球状にあらわれた。固液共存の帯域溶解時間を 15 min に一定として黒鉛組織を比較すれば、Photo. 3 にみられるように、 $N_2$  中では球状黒鉛が粗大であり、Ar および真空中では微細球状を呈している。

$N_2$  中で  $1350^\circ\text{C}$  に溶解すると粗大片状黒鉛を発生するが、Ar 中で同様に溶解すると微細な共晶黒鉛組織になることを認めた。 $N_2$  はおそらく窒化物とくに C との窒化物として片状黒鉛の核作用をなすと考えられるが、

本実験において溶解時間が短い内は低温度のために  $N_2$  の影響はほとんどないとみられる。

### 3.4 亜共晶鑄鉄についての実験

上記の実験はいずれも過共晶組成に関するものであるが、つぎに亜共晶純 Fe-C-Si 試料を用いて、これを  $1380^\circ\text{C}$  にて 2~3 min 溶解後、Fig. 1 に示すとおり  $900^\circ\text{C}$  にて保持した。  $1380^\circ\text{C}$  からそのまま常温まで冷却した場合の組織は Photo. 4(a) にみられるように普通の片状黒鉛であるが、  $900^\circ\text{C}$  に 10 min 保持した直後の黒鉛組織を水冷によつてしらべたところ、(b) に示すとおり微細球状黒鉛が得られた。保持時間がさらに長い 30 min の場合の水冷試料によれば、さらに黒鉛の球状化が進行する傾向が見られた。これによれば、溶融鑄鉄を冷却中、共晶黒鉛が発生する共晶点直下の温度に保持することによつて、黒鉛が球状化することがわかる。また 30 min 保持後空冷した場合には Photo. 4(d) にみられるように球状黒鉛のほかに冷却中に初析出したと思われる微細な共晶状黒鉛が混入してあらわれた。亜共晶鑄鉄の組織は一般に (a) に示すような片状の共晶組織であつて、特別の球状化処理を施さない限り、球状黒鉛は得られないが、ここに示すとおり、溶湯から冷却中、共晶直下の  $900^\circ\text{C}$  に保持することによつて容易に球状黒鉛組織の鑄鉄が得られることが明らかであつた。

### 4. 考 察

粗大片状の黒鉛をもつ過共晶鑄鉄を融点直上に短時間溶解し、再び黒鉛が初晶化する 2 相共存温度に一定時間保持すれば球状黒鉛が得られ、また黒鉛の周囲の融液を低融点の Al にかえた場合に黒鉛が六方晶としてあらわれることが認められた。溶解中に黒鉛の浮上がみられた際、浮上黒鉛を採取して検鏡したところ、六角形状の薄片が多く見受けられた。以上のごとく、周囲の状態が黒鉛の自由晶出を妨げないような場合には、黒鉛は球状または六角形状を呈することがわかる。この場合には溶解雰囲気の影響はきわめて少ないものとみられた。亜共晶鑄鉄では黒鉛の晶出は共晶温度であるから、共晶点直下の温度に一時保持することによつて初晶黒鉛と同様の黒鉛球状化の傾向が認められた。共晶黒鉛でも晶出直後の形状は粒状であり、そのままの温度に保持して黒鉛を十分晶出させる場合にはさらに粒状化が進行し、特別の球状化処理を施さない鑄鉄でも、ここにのべる方法により球状黒鉛が得られることがわかつた。

### 5. 結 言

将来の鑄鉄製品の連続鑄造あるいはダイキャストを考慮して、溶融鑄鉄を固液共存温度付近の低温でしかも一定温度に保持した場合の黒鉛組織をしらべた。その結果を要約すれば、

(1) 過共晶鑄鉄に見られる粗大片状黒鉛はここに示した溶解方法によりきわめて容易に短時間に球状化することを認めた。固液共存状態の保持の容易な帯域溶解法を適用した場合も、溶解雰囲気にかかわりなくほとんど同様の球状黒鉛組織が得られた。

(2) 亜共晶鑄鉄の場合は共晶直下の温度にて一定時間保持することによつて、共晶黒鉛の微細粒化する傾向が認められた。

なお本研究のテーマは東京大学名誉教授田中清治博士

の示唆されたものであり、研究については東京大学教授 雀部高雄博士の指導を受けた。

### 文 献

- 1) PIWOWARSKY: Stahl u. Eisen, 45 (1925) 35, p. 1455
- 2) PIWOWARSKY: Arch. Eisenhüttenw., (1934), p. 427
- 3) 田中: 鉄と鋼, 27 (1941) 12, p. 932

## (228) 鋼中 MnO-SiO<sub>2</sub> 系介在物の熱間 圧延中における挙動

(18-8 ステンレス鋼中の非金属介在物に関する 研究—Ⅲ)

鉄鋼短期大学

工博 伊佐重輝・○岩井彦哉・辻野文三

Behavior of Manganese Silicate Inclusions in Steel during Hot-Rolling.

(A study of non-metallic inclusions in 18-8 stainless steel—Ⅲ)

Dr. Shigeteru Isa, Hikoya Iwai and Bunzo Tsujino.

### 1. 緒 言

前報に引続き特定の介在物のみを一定量均一に分布含有している粉末冶金法<sup>1)</sup>を用いて作った試料鋼片を、一定の条件で熱間圧延し、その間における各介在物の挙動を調べ、機械的性質におよぼす影響に対する基礎的な知見を求めた。なお今回はとくに MnO-SiO<sub>2</sub> 系介在物について、おもに圧延温度、介在物粒度と各介在物の変形度、変質の有無などについて検討を試みた。

### 2. 実験方法

#### 2.1 各種介在物の実験室的調成準備

本実験に供した MnO-SiO<sub>2</sub> 系合成介在物の作成に用いた各酸化物の調成準備の方法のうち、amorphous SiO<sub>2</sub>,  $\alpha$  cristobalite,  $\alpha$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> については前報<sup>2)</sup>において述べたので省略し、MnO についてのみ簡単に述べる。

MnO: 市販特級試薬の MnCO<sub>3</sub> を真空中 ( $10^{-3}$  mmHg),  $500^\circ\text{C}$  で約 25 hr 加熱分解して作成した。X線回折の結果大部分 MnO(Manganosite) であることを確認した。

上述の方法で作成した MnO, amor. SiO<sub>2</sub> および  $\alpha$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> をできるだけ細く粉碎 (325 mesh 以下) し、これらを Table 1 に示した各合成介在物の化学組成にしたがつて配合し、成形剤としてホルマリン系樹脂を約 15% 添加してよく混合した後、金型中で  $3\text{ t/cm}^2$  の圧力で成形し真空、 $180^\circ\text{C}$  の恒温槽中にて数時間乾燥する。これを Ar プラズマジェット気流中で溶解し空冷する。このようにして得た合成スラグを適当な大きさに破碎し粒度調整 ( $105\sim 74\mu$  および  $53\sim 44\mu$ ) した後顕微鏡組織、X線回折、化学分析などによつて同定した。これらの合成スラグの作成に関しては R. KIESSLING, S. BERGH と N. NANGE の報告<sup>3)-5)</sup> を参考にした。

#### 2.2 圧延用鋼片の作成