白鉄の黒鉛化に関する研究 (第 2 報) 銅の影響*

二 川 和 正**

Kazumasa Futakawa: Studies on Graphitization of White Cast Iron (2nd Report).
The Effect of Copper.

Of the effect of chemical composition on the graphitization of white cast iron, in this paper, the effect of copper was investigated by varying the copper content to 0.32, 0.82 and 1.15% in the case of 2.35% of carbon and 1.75% of silicon content. The behavior of graphitization of white cast iron was studied in the same method as described in the previous paper. The results obtained were as follows: (1) The time required for the completion of the first stage of graphitization was shortened with increasing amounts of copper. (2) The time required for the completion of second stage of graphitization by means of the direct transformation was prolonged (and by means of the indirect transformation was shortened) with increasing amounts of copper. (3) The temperature range, in which the graphitization was completed by only the direct transformation, was enlarged up to the lower temperature below the metastable eutectoid temperature with increasing amounts of copper. (4) The temperature range, in which the direct transformation made the time required for the completion of graphitization shorter than the indirect was found in the case of all the iron samples tested in this work.

(Received December 17, 1956)

I. 緒 言

Cu は白鉄の黒鉛化を促進する元素であることが沢村⁽¹⁾によつて報告され、菊田⁽²⁾および Palmer⁽³⁾ は一定温度での膨脹試験により第一段および第二段黒鉛化とも Cu によ

り黒鉛化が促進されることを示した。また Schwartz 等⁽⁴⁾も同様の結果を報告している。

以上の報告では第二段黒鉛化に関しては間接変態についてのみ調べた結果に過ぎず、直接変態については触れていない。しかしながら De Sy 等⁽⁵⁾ は灰鑄鉄の直接および間接フェライト化の機構を考察し、鑄鉄中の Cu の存在に

** 大阪府立大学工学部

* 1955 年 4 月本会東京大会に発表

(1) 沢村, 京都帝大工学部紀要, 4 (1926), No. 1, 159; 鉄と鋼, 11 (1925), No. 12, 891.

(2) 菊田, 鑄物本質論, (1935), 131.

(3) C. S. Smith & E. W. Palmer, Trans. AIMME, 116 (1935), 363.

(4) H. A. Schwartz, V. Fiordalis, J. L. Fisher, J. F. Shumar & M. J. Trinter, Trans. ASM, 28 (1940), 143.

(5) A. De Sy, J. Vidts & J. Van Eeghem, Exchange paper, 21st International Foundry Congress, (1954).

よりフェライト化が遅延されることを報告している。

Table 1 Chemical composition of specimens.

Specimen	Chemical composition (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
Cu-0	2.37	1.75	0.22	0.04	0.079	0.32
Cu-1	2.32	1.74	0.23	0.04	0.076	0.82
Cu-2	2.37	1.73	0.22	0.04	0.081	1.15

著者は白鉄の第一段黒鉛化とともに第二段黒鉛化における直接変態について間接変態と関連して系統的な実験を行っているが、本報では白鉄の黒鉛化に及ぼす化学成分の影響として第1報に引続いてCuの影響について記述する。

II. 試料および実験方法

本実験に使用した鑄鉄の化学組成を Table 1 に示す。

試料は工業用白鉄をクリップル炉にて溶解し、フェロ・シリコンおよび純銅を添加、所定のSi量およびCu量にし、約1350°熔湯を生砂型に鑄込み、7mm中の白鉄にした。なお試料はC約2.35%およびSi約1.75%で、Cu量の異なる3種の白鉄である。たゞし試料Cu-0中のCu量は特に添加したものではなく工業用白鉄中に含有されていたものである。

実験方法としてまず第一段黒鉛化は前報と同様で950°で黒鉛化焼鈍を行った。また第二段黒鉛化も前報と同様に行い、第一段焼鈍のため950°で1時間30分保持し、炉冷した試料を長さ10mmに切り、再度900°に加熱した炉中に急速に装入、その温度に30分保持した後3°C/minの冷却速度で800°まで冷却し、その温度に10分保持後所定温度に保持した鉛浴中に焼入れ、各種時間恒温保持後水冷し、検鏡して第二段黒鉛化の進行状況をしらべた。

III. 実験結果ならびに考察

1. 第一段黒鉛化

黒鉛化膨脹曲線を Fig. 1 に示す。Cu量の増加とともに黒鉛化速度は大となり、従つて黒鉛化完了時間も短縮される。Cu 0.32% (Cu-0),

Fig. 1 Dilatation-time curves in the first stage of graphitization at 950°.

0.82% (Cu-1) および 1.15% (Cu-2) の各試料の 950°における黒鉛化完了時間はそれぞれ 65分, 50分および 40分である。なお第一段黒鉛化完了後炉冷した試料の黒鉛粒数もCu量の増加とともに著しく多くなり、試料Cu-0, Cu-1およびCu-2の1mm²における黒鉛粒数はそれぞれ 59, 76 および 129 である。従つてCu量の増加による黒鉛化完了時間の短縮は黒鉛粒数の増加に起因するものと考えられる。

2. 第二段黒鉛化

試料Cu-0, Cu-1およびCu-2の第二段黒鉛化恒温変態図をそれぞれ Fig. 2, 3 および Fig. 4 に示す。これらの恒温変態図は前報に図示したものと同様にして描い

Fig. 2 (Cu-0)

Fig. 3 (Cu-1)

Fig. 4 (Cu-2)

Fig.2, Fig.3 and Fig.4 Isothermal transformation diagrams for the second stage of graphitization.
a : Beginning of direct transformation.
b : Ending of direct transformation.
c : Beginning of pearlite transformation.
d : Ending of pearlite transformation.
e : Ending of graphitization of pearlite.
L. T. E. D. T. : Lowest temperature of ending of direct transformation.

た。なお Fig. 3 および Fig. 4 には直接変態のみによつて黒鉛化が完了する最低温度を点線をもつて示した。

(1) 直接変態

恒温変態図に示されるように、直接変態の開始ならびに完了線は Cu 量の増加とともに長時間側に移行する。例えば 770° における試料 Cu-0, Cu-1 および Cu-2 の変態開始時間はそれぞれ 7 分, 13 分 および 40 分であり、完了時間はそれぞれ 1 時間 30 分, 7 時間 40 分および 10 時間 50 分である。このように Cu 量の増加とともに同一温度での直接変態による黒鉛化完了時間は著しく遅延される。

なお Cu 量の少い試料 Cu-0 の場合は 765° の準安定系の共析点以上においてのみ直接変態により黒鉛化が完了するが、Cu 量の増加とともに直接変態のみによつて黒鉛化の完了し得る温度範囲は非常に低温度まで拡大され、その最低温度は試料 Cu-1 および Cu-2 においてそれぞれ 745° および 735° である。この理由として著者は Cu 量の増加は恒温変態図にも示されるようにパーライト変態の開始を遅らせ、また直接変態の完了時間は温度の降下とともに著しく短くなるから、パーライト変態の開始前にすでに直接変態により黒鉛化が完了する結果となり、従つて Cu 量の増加とともに直接変態のみにより黒鉛化が完了する温度範囲が準安定系の共析点を越えてさらに低温度まで拡大されたものと考えられる。

さて、で注目されなければならないことは Cu 量の増

加とともに直接変態のみによつて黒鉛化が完了する温度範囲がさらに低温度まで拡大される結果、同一温度では Cu 量の増加とともに直接変態による黒鉛化完了時間が著しく遅延されるが、Cu 量の多い試料の場合低温度で直接変態により黒鉛化完了時間が非常に短縮されること

である。例えば直接変態のみによる黒鉛化完了時間は、試料 Cu-0 の場合 770° において 1 時間 30 分であるが、試料 Cu-1 の場合 750° において 20 分であり、試料 Cu-2 の場合も 740° において同じく 20 分である。このように Cu 量の多い試料の場合黒鉛化完了時間が非常に短縮される。

(2) 間接変態

恒温変態図に示されるように、Cu 量の増加とともにパーライト変態の開始ならびに完了線は長時間側に移行するが、パーライトの黒鉛化完了線は短時間側に移行する。例えば試料 Cu-0, Cu-1 および Cu-2 の黒鉛化完了時間は 720° においてはそれぞれ 7 時間 20 分, 6 時間 30 分および 5 時間 10 分であり、700° においてはそれぞれ 11 時間 40 分, 10 時間 および 8 時間 20 分である。このように間接変態によつても第一段黒鉛化の場合と同様に Cu 量の増加とともに黒鉛化完了時間が著しく短縮される。

なお本実験で行われた温度範囲内では全試料ともいずれの温度においても直接変態の開始がパーライト変態の開始に先行している。またいずれの試料においても直接変態による方が間接変態によるよりも黒鉛化完了時間が短縮される温度区間が存在する。この結果は前報の場合と逆であるが、これは試料の Si 量が前報の場合と比較して多く、従つて安定系および準安定系両共析点間の温度範囲が大きくなったこと、すなわち直接変態によつて黒鉛化が完了する温度範囲が拡大されたためである。

Photo. 1 Microstructure of specimens transformed isothermally at 770° for 100 minutes and then water-quenched. ($\times 300$) Nital etch.

Photo. 2 Microstructure of specimens transformed isothermally at 740° for 3 minutes and then water-quenched. ($\times 300$) Nital etch.

De Sy ら⁽⁵⁾ Cu は添加による直接フェライト化の遅延について、 γ - α 境界に近いオーステナイト層における析出 Cu 原子の蓄積がオーステナイトからフェライトへの炭素の拡散を妨げ、そして間接フェライト化の遅延についてはフェライト-黒鉛境界における同様の現象によるものであると考えている。しかしながら鋼の恒温変態の場合 Cu はオーステナイトの分解を遅延させることはよく知られており、また本実験結果においても明らかなように、Cu 量の増加とともにパーライト変態の開始が遅れる事実より直接変態の開始も同様に遅れ、従って直接変態による第二段黒鉛化完了時間も長くなることが考えられる。また間接変態において Cu が黒鉛化を促進する本実験結果は従来の報告と同様であり、De Sy ら⁽⁵⁾ の結果とは一致しない。間接変態における Cu 量の増加による黒鉛化完了時間の短縮は第一段黒鉛化によつて生じた黒鉛粒数の増加に起因するものと考えられる。

(3) 顕微鏡組織

第二段黒鉛化における直接変態を示す顕微鏡組織の代表例として **Photo. 1** に 770° にて 100 分恒温保持後水焼入したものを示す。試料 Cu-0 では直接変態のみによつて黒鉛化が完了し完全にフェライト地になっているが、試料 Cu-1 では多くの未変態のオーステナイト (写真ではマルテンサイトであるが以下オーステナイトと記す) を残し、その量は直接変態によつて生じたフェライトの量よりも多く、試料 Cu-2 ではさらにフェライトの量が少くなっているのが見られる。

次に 740° にて 3 分恒温保持後水焼入した試料の顕微鏡組織を **Photo. 2** に示す。この温度では試料 Cu-0 および Cu-1 は間接変態によつて黒鉛化が完了し、試料 Cu-2 は直接変態のみによつて黒鉛化が完了することは Fig. 2, Fig. 3 および Fig. 4 によつて示された通りである。従つてこの温度では試料 Cu-0 および Cu-1 ではパーライト変態が起る。試料 Cu-0 では bull's eye 組織で完全にパーライト変態の完了したことを示している。またこゝで黒鉛粒を取囲むフェライトは勿論パーライト変態

の完了前に直接変態によつて生じたものである。試料 Cu-1 ではパーライト変態の始まつたところで直接変態によつて生じたフェライトと未変態のオーステナイトとパーライトが共存する。試料 Cu-2 では直接変態が始まつたところで未変態のオーステナイト地にわずかにフェライトの析出しているのが見られる。

以上 **Photo. 1** および **Photo. 2** により Cu により直接変態およびパーライト変態の遅延されるのが明らかに看取される。

IV. 総 括

C 約 2.35%, Si 約 1.75% で、Cu それぞれ 0.32%, 0.82% および 1.15% の白鉄を用いて黒鉛化におよぼす Cu の影響をしらべた結果を要約すると次のようである。

(1) 第一段黒鉛化完了時間は Cu 量の増加とともに短縮される。

(2) 第二段黒鉛化恒温変態図において直接変態の開始ならびに完了線は Cu 量の増加とともに長時間側に移行する。従つて同一温度での直接変態による黒鉛化完了時間は Cu 量の増加とともに長くなる。

(3) 第二段黒鉛化恒温変態図においてパーライト変態の開始線が Cu 量の増加とともに長時間側に移行する。従つてパーライト変態の開始前において直接変態により黒鉛化が完了し得ようになり、Cu 量の増加とともに直接変態のみにより黒鉛化が完了する温度範囲が、準安定系の共析点を越えてさらに低温度まで拡大される。その結果 Cu 量の多い試料では直接変態により黒鉛化完了時間が飛躍的に短縮される。

(4) 間接変態による黒鉛化完了時間は Cu 量の増加とともに短縮される。

(5) 第二段黒鉛化完了時間は各試料とも間接変態によるよりも直接変態による方が短縮される温度区間が存在する。

終りに本研究に対し御指導を願つた大阪大学茨木正雄教授、実験遂行に当り色々お世話になつた岡林邦夫氏ならびに実験に協力して頂いた浜田 肇君に謝意を表する。