黒心可鍛鑄鐵のフェライト粒度について (第 1 報)

第一段焼鈍後の冷却速度がフェライト粒度に及ぼす影響*

青 木 猪三雄** 吉 見 良 平***

Isao Aoki and Ryôhei Yoshimi: Ferrite Grain Size of Malleable Cast Iron (1st Report) The Influence of Cooling Velocity after the 1st Step Annealing upon the Ferrite Grain Size. Samples were cooled with various cooling velocities after the 1st step annealing and then were annealed at the 2nd step annealing temperature. After these heat treatments, ferrite grain sizes of these samples were observed microscopically. The results obtained were as follows: (1) Ferrite grains, which have been separated directly from austenite cooled with very slow cooling velocity after the 1st step annealing, are small and do not grow by the 2nd step annealing. (2) Ferrite grains, which have been formed by the graphitization of pearlite, are not uniform in size and grow by the 2nd step annealing. (3) Ferrite grains of samples, which have been quenched after the 1st step annealing, grows greatly by the 2nd step annealing.

The greater the internal stress owing to the transformation after the 1st step annealing is, the larger the ferrite grains grow by the 2nd step annealing.

(Received October 6, 1950)

I. 緒 言

可鍛鑄鐵の性能を云々する場合 従来は焼鈍炭素の 形や分布状態から判断して来たのであるが、可鍛鑄鐵の機械的性質の優劣はその組織の地をなすところのフェライト粒の 形や大きさによつて左右されることは論を俟たない。それ故組織を見る場合には焼鈍炭素の外にフェライト粒度を注意して見る必要があるのであるが、このフェライト粒の形や大きさは焼鈍炭素の形や分布状態と密接な関係があるので、便宜上焼鈍炭素をもつて判断の材料にしても差支えがない。然し可鍛鑄鐵の性能の主体性は飽く迄もフェライト地にあることは間違いない。然らばそのフェライト地は どうして出来るかという、これに関する研究はこれ迄あまり爲されておられないようである。

著者の一人は さきに鑄鐵の 黒鉛化の研究において第一段

焼鈍後の冷却速度の如何により、或る場合はオーステナイトから直接にフェライトに変態し、或る場合はオーステナイトから一旦パーライトになつてからフェライト化する (第二段黒鉛化) ことを示した⁽¹⁾。かくの如くフェライトには二通りの生成の仕方があるから、当然それらのフェライトに相違が存在するものと思われる。又オーステナイトの粒度はそれから生じたフェライト粒度に如何に影響するだろうか、オーステナイト粒度は何に支配されるだろうか、白鉄組織の大小はオーステナイト粒度に如何に影響するだろうか、本研究はこれ等の問題を明らかにすべく 始められたものであるが、今回は その内第一段焼鈍後の 冷却速度と フェライト粒度との関係について報告する。

II. 實 験

(1) 試 料 用いた試料は實際現場において 3 ton 電気炉で溶解された黒心可鍛鑄鐵用熔湯を砂型に鑄造して 10×17×200mm の白鉄角棒としたものでその組成は次の如くである。

C 2.24%, Si 1.26%, Mn 0.33%, P 0.208%, S 0.045%, Cr 0.03%

** 東北大学金属材料研究所

*** トヨタ自動車工業株式会社

* 1949 年 11 月本会名古屋大会に発表

(1) 青木, 本誌, 11 (1947), No. 7-8, p. 11; No. 9, p. 21.

(2) 第一段焼鈍後の組織 この試料を用い第一段焼鈍後の冷却速度の如何により生ずる所のフェライト粒が如何に変化するかを見るために次のような冷却の仕方を行つた。即ち第一段焼鈍後 (1) 最徐冷してオーステナイトより直接フェライトを析出させる (2) 徐冷してパーライト変態をさせる (3) 空冷する (4) 焼入する。

以上四通りの熱処理が第一段焼鈍後行われたのであるが、その内 (1) と (2) の熱処理に対しては第一段焼鈍後種々冷却速度を変えて冷却し、その冷却途中から試料を水焼入してフェライト或はパーライトの発生を調べ適当な冷却速度を決定した。それによると冷却速度が $750 \sim 700^\circ$ の間では $5.5^\circ/\text{hr}$ 以下の時はオーステナイトより直接フェライトを析出し、 $90^\circ/\text{hr}$ の時はオーステナイトはパーライト変態をした。

これ等の熱処理を終つた後の組織は **Phot. 1~4** の如く

to. 4)。

(3) 第二段焼鈍後の組織 これらの四つの異なる組織の試料に対して第二段焼鈍を行つた。即ちこれらの試料をそれぞれ長さ約 20mm の水片に切断し電気炉に入れ 720° に加熱した。而して所定の時間毎に試料の各 1 個を炉より取出して空中放冷し顕微鏡によつてフェライトの発達状況を観察した。その結果は **Photo. 5~10** の如くである。即ち (1) 最徐冷して地全体をフェライト化したものは 720° に 50hr 加熱してもフェライト粒度には変化がなく **Photo. 1** の粒度と変りがなかつた。(2) 徐冷してブルズアイ組織としたものは 720° に加熱することによつて共析セメンタイトの消失所謂第二段黒鉛化を行つた。即ち 720° に 17hr 位加熱すると共析セメンタイトが可成り消失しフェライト粒界が見えるようになるが未だ多くの球状セメンタイトが残っている (**Photo. 5**)、なお引き続き加熱するとセメンタイトは殆

×100

Photo. 1 Most Slowly Cooled after the 1st Step Annealing.

(×100)

Photo. 2 Slowly Cooled after the 1st Step Annealing.

×100

Photo. 3 Air Cooled after the 1st Step Annealing, and Kept at 720° for 17 hrs.

×100

Phot. 4 Water Quenched after the 1st Step Annealing.

である。(1) 最徐冷したものは **Photo. 1** に示す如く $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態を完全に終りフェライト地に焼鈍炭素が点在したものである。(2) 徐冷したものはブルズアイ組織を呈し (**Photo. 2**) (3) 空冷したものはソルバイト地になつており (**Photo. 3**) (4) 水焼入したものはマルテンサイトになつている (**Photo. 4**)。

どなくなりフェライト粒界が一層明瞭になる (**Photo. 6**) この時のフェライト粒は前の場合に較べて比較的大きくなつてはいるが、黒鉛の周囲のフェライトは初めのブルズアイ組織におけるフェライトリングのフェライトそのまゝの大きさを示している。(3) 空冷してソルバイト地としたものは (2)

×100

Photo. 5 Sample of Photo. 2 Kept at 720° for 17 hrs.

×100

Photo. 6 Sample of Photo. 2 Kept at 720° for 50 hrs.

×100

Photo. 7 Sample of Phot. 3 Kept at 720° for 30 hrs.

×100

Photo. 8 Sample of Photo. 3 Kept at 720° for 50 hrs.

の場合と同じく第二段焼鈍によつて黒鉛化するが (Photo. 7, 8), この場合もフェライト粒は大きくなっている。このフェライトを (2) の場合のフェライトと比較するとこのフェライト粒の方が大きい。又第一段焼鈍後徐冷したものと空冷したものとの第二段黒鉛化速度を比較して見ると徐冷したものの方が早いようである。(4) 水焼入して地をマルテンサイトしたものは 720° に加熱することによつて焼鈍されて微細黒鉛が発生し (Photo. 9), フェライト粒が極めて粗大化した (Photo. 10)。

III. 考 察

以上の実験において第一段焼鈍後の冷却の仕方によつて、それから第二段焼鈍で発生するところのフェライト粒の大きさが異なることがわかつた。即ち第一段焼鈍後の冷却速度が緩い程フェライト粒は大きく、焼入れしたものの方が粗大化していた。今白鉄を第一段焼鈍して“オーステナイト+黒鉛”となしたものを極めて徐々に冷却して来ると黒鉛系共析点とセメンタイト系共析点との間においてこのオーステナイトからフェライトを析出する。この場合このフェライトは焼鈍炭素の周囲並びにオーステナイト粒界より析出するので

あるが (Phot. 11), この場合一つのオーステナイト粒は数個のフェライトに分れる。而して一つのオーステナイト粒が何個に分れるかはオーステナイト粒に生ずるフェライトの核の数によることは勿論である。次にこれよりも冷却を早くした場合は焼鈍炭素の周囲にはオーステナイトよりフェライトを生ずるが、大部分のオーステナイトはセメンタイト系 A₁ 点以下の温度でパーライトに変化し、所謂ブルズアイ組織となる。この時一つのオーステナイト粒は矢張り数個のパーライト粒になる。このパーライトは第二段黒鉛化によつてフェライトと黒鉛とになるわけであるが、一つのパーライト粒の中ではフェライト層は同一の結晶方向を持つている故に第二段黒鉛化即ち共析セメンタイト消失によつて一つのパーライト粒は一つのフェライト粒に変化する。なおこのものをその温度に保持するとこのフェライトは生長する。これはオーステナイトがパーライト変態を行つたために変態歪が出来て、そのためにフェライトが生長するのであると考えられる。これに反しオーステナイトから生じたフェライトは伸々生長しにくい。これはこの時の変態歪がパーライト変態よりも小さいことを物語つている。最も変態歪の大きい思

×100

Photo. 9 Photo. 4 Kept. at 720°
for 10 hrs.

×100

Photo. 10 Photo. 4 Kept at 720°
for 50 hrs.

Phot. 11

×100

The Quenched, from the Temperature
between Graphite System A_1 and
Cementite System A_1 , after 1st Step
Annealing. Martensite, Ferrite (around
temper carbon) and Graphite.

われるもの、即ち第一段焼鈍後焼入して“黒鉛＋マルテンサイト”としたものを第二段の温度に加熱するとフェライトは極めて粗大となる。それ故フェライト粒の成長に作用する最も大なる因子は第一段焼鈍後の変態歪であると思われる。即ち第一段焼鈍後の冷却の緩急如何によつてオーステナイトはフェライト変態、パーライト変態、マルテンサイト変態をなすが、この順に歪が大となり従つてフェライト粒も、その順に成長して大きくなる。それ故実際の工場の作業において、フェライト粒の細かい鋳物を造らうとする場合には第一段焼鈍後徐冷によつてオーステナイトより直接フェライトに変化させた方がよいようである。一旦パーライトにしてから第二段焼鈍によつてフェライトにする場合にはフェライトが成長して大きくなる心配がある。

次にフェライトの生長に対する黒鉛の影響であるが、これはあまり影響しないようである。徐冷して焼鈍炭素量の少い

ものでもフェライトは成長しにくいし、第一段焼鈍後焼入れ、後焼戻した微細焼戻炭素を沢山有するものでもフェライト粒は成長する。以上のことから黒鉛粒の存在はフェライト粒の成長には邪魔にならないということが出来ると思われる。

又第一段焼鈍後徐冷してブルズアイ組織としたものと空冷してソルバイト組織としたものとで、第二段黒鉛化速度を比較して見ると、本実験では前者の方が第二段黒鉛化速度が早い結果になっているが、これはブルズアイ組織におけるフェライトリングの作用によるのではないかと思われる。即ちフェライトリング中におけるCの擴散速度が早いためではないかと考えられる。

IV. 總 括

(1) 第一段焼鈍後極めて徐冷するとオーステナイトは黒鉛共析点以下の温度で焼鈍炭素の周圍並びにオーステナイト粒界よりフェライト化するが、このフェライトは第二段黒鉛化の温度では殆ど成長しない。

(2) 第二段黒鉛化によつて一つのパーライト粒は一つのフェライト粒に変化するが、その後このフェライト粒はこの温度で成長する。これはパーライト変態をしたための内部応力のためであると思われる。

(3) $\gamma \rightarrow \alpha$ の変態によつて生じたフェライトがパーライトの第二段焼鈍によつて生じたフェライトよりも微細であるという事実は、実際の可鍛鑄鉄製造の際関心すべきことである。

(4) 変態歪の大きいもの程フェライト粒は成長する。即ち焼入後焼戻したものゝフェライトは極めて粗大化する。

(5) 黒鉛粒の存在はフェライト粒の成長に対してあまり影響しないようである。

終りに本実験遂行に当つて色々御指導御鞭撻を戴いた岩瀬麗三先生並にトヨタ自動車株式会社 石原康正氏に厚く感謝致します。