

(12) モリブデン鋼の膨脹速度及膨脹量は可成り大きく、焼入温度に因り影響されることは少いが、含有量の増加に由て幾分膨脹量を減小する。

(13) 約等量の添加元素による膨脹速度を比較するとき

は添加元素 0.5% 及び 1.0% の場合には *Mn* 鋼が速度最も大きく、*W* 鋼之に次ぐが、1.5% 以上に於ては *W* 鋼最も大きい。

白鉄鑄鐵の脱炭に就て (第2報)

(日本鐵鋼協會第 12 回講演大會講演)

内藤 逸 策*

THE DECARBURISATION OF WHITE CAST IRON

(The second report)

By Issaku Naito.

SYNOPSIS:— When white cast iron is annealed with iron oxide in the same vessel, there occurs the decarburisation in the casting as explained in the first report; and in the second report, the mechanism on the decarburisation of white cast iron at high temperature is principally explained.

The change of distribution of carbon in the white cast iron during decarburisation is very complicated comparing in the case of carbon steel, because there are many sources of carbon as temper carbon or free cementite in the matrix of austenite. However, if the properties of these sources of carbon were studied, the migration of carbon in the cast iron could be treated by the diffusion theory of carbon as in the case of carbon steel. And the mechanism of the decarburisation was presumed after many experimental observations and mathematical treatments on the distribution of carbon in the decarburized sample.

The effect of graphitization and the chemical composition of white cast iron on the decarburisation was also investigated.

1. 緒 論

本第2報は可鍛鑄鐵製造過程に於ける白鉄鑄鐵の脱炭に就ての研究であつて、爐内の瓦斯の變化に就て行つた第1報の續きである、主として鑄鐵内に起きる脱炭に伴ふ炭素の移動を實測し、其の脱炭の機構を明にせんとしたのである。

白鉄鑄鐵を脱炭する際、其の内部の炭素分布の移動は極めて複雑であるが、其の理由はセメントタイト又は焼鈍黒鉛の如き炭素の源となるべきものが澤山に點在することに原因するのであつて、此等の炭素源の性質を吟味して、白鉄鑄鐵内の炭素の移動も理論的に解明することが出来、其から脱炭の機構も推定することが出来たのである。なほ本報告には脱炭と黒鉛化との關係、並に各種成分の脱炭に對する影響等をも實驗し其等の關係も明にすることが出来た。

2. 鋼の脱炭に就て

鑄鐵の脱炭に就ては今日なほ充分な文獻がないので、先づ鋼に就て脱炭の一般的機構を考究することとする。鋼の脱炭に就ては、E. D. Campbell.¹⁾ C. R. Austin²⁾

及び Johansson³⁾ and Von Seth 等の研究がある。

Austin の實驗は水素瓦斯中で鋼を脱炭させたものであつて、其の脱炭の機構としては炭素の擴散のみでなく、水素瓦斯の侵入脱出も考へられてゐる。Johansson 等の實驗は ($CO+CO_2$) 系の瓦斯によつて脱炭を行つてゐるが、其の結果に對しては何等此の點に就て論ぜられてゐない。鐵鋼の脱炭される機構としては外部より瓦斯が浸入して炭素と結合し再び外部に脱出する方法と、内部の炭素が表面へ擴散して來て表面で外氣と結合することゝの二方法が考へられるが、($CO+CO_2$) 系瓦斯による脱炭の場合には後者即ち炭素の擴散によつて脱炭が行はれる如く見られる。よつて次に Johansson 等の實驗結果に就て擴散の法則が適用し得らるゝや否やを數學的に考察して見た。

鋼は 900°C 以上では全部オーステナイト組織となつて居るべきで、炭素は其の濃度の差に比例して連続的に高濃度の部分から低濃度の部分に移動するものと考へる。

さすれば一般の擴散の微分方程式 (1) によつて其の炭素の移動状態を知ることが出来る。

$$\partial w / \partial t = k(\partial^2 w / \partial x^2 + \partial^2 w / \partial y^2 + \partial^2 w / \partial z^2) \dots \dots (1)$$

* 戸畑鑄物會社

¹⁾ E. D. Campbell; Journal of the Iron & Steel Inst. No. II 1919.

²⁾ C. R. Austin; " " No. I. 1922.

³⁾ Johansson & Von Seth; Journal of the Iron & Steel Inst. No. II. 1926.

w = 炭素濃度 t = 時間 k = 擴散率

x, y, z, \dots 空間の三方向

然るに普通實驗は圓筒形の試料に就て行はれて居るので

(1) 式を圓筒座標に移し、圓筒の長さの方向及び中心角の方向には變化がないものとすれば (2) 式となる。

$$\partial w / \partial t = k(\partial^2 w / \partial r^2 + 1/r \cdot \partial w / \partial r) \dots \dots \dots (2)$$

r = 半徑

此の式を解くには、最初の條件と境界條件とが必要である。今其等の條件を次の如く定める。

$$t = 0 \quad w = W \quad (\text{一定})$$

$$r = a \quad (\text{試料の半徑}); \quad w = 0$$

脱炭中試料の周圍は常に炭素濃度を零とすることは一般に考へられないが、其の周圍瓦斯が充分炭素に對し酸化性が強い場合にはかく簡單に考へることは支障ない。

以上の條件のもとに (2) 式を解けば其の解は次の如くなる。

$$w = \sum_1^{\infty} 2W / \{ \alpha \alpha n J_1(\alpha na) \cdot J_0(\alpha nr) e^{-k \alpha^2 n^2 t} \} \dots \dots (3)$$

$$J_0(\alpha na) = 0$$

(3) 式は無級級數であるが收斂性のものであるから計算を行ふことが出来る。

今 Johansson 等の實驗を見るに、脱炭の實驗は直徑 12.5mm 長さ 40mm の丸棒の試料に就て行つてゐる。其の鋼の材質は次の如きものである。

	C	Mn	Si	P	S
(1)	0.81	0.27	0.06	0	0.010
(2)	1.11	0.43	0.13	0.030	0.017

溫度は 1,100, 900, 800, 750°C 等で行ひ、CO、CO₂ の瓦斯の混合割合も種々變へてゐるが、

今此處では前式の解が境界條件として周圍炭素濃度零の場合のみを採つてゐるので、CO₂ の量充分に多くよく脱炭されてゐる場合の實驗結果をとることとし、(3) 式を當儀めて計算を行つた結果は第 1 圖乃至第 3 圖の如くで割合によく一致してゐることが認められる。(圖中實線は測定値 點線は計算値)

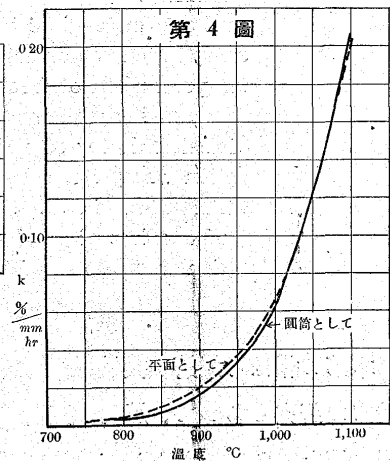
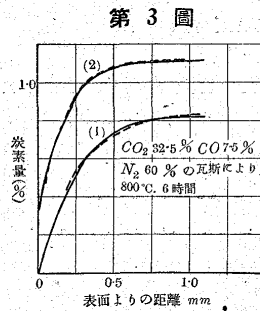
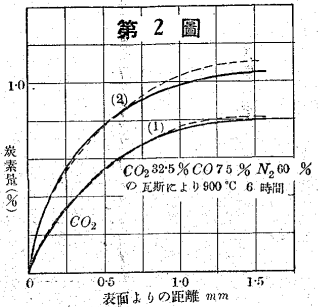
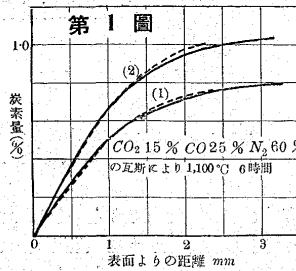
一般にかゝる擴散の問題を取扱ふ場合に、上の如く圓筒形に就て行ふ時には、其の解が (3) 式の如く無級級數の和となつて頗る取扱が不便であるので、次に之れを平面境界の場合として取扱ふと簡單な解を求めることが出来る。即ち (1) 式は簡單に

$$\partial w / \partial t = k \cdot \partial^2 w / \partial x^2 \dots \dots \dots (4)$$

となり、之れを前と同様な條件のもとに解けば

$$w = 2W / \sqrt{\pi} \int_0^{x/2\sqrt{kt}} e^{-\xi^2} d\xi \dots \dots \dots (5)$$

となり、之れは表によつて容易に計算することが出来る。而して脱炭が極く表面の近くにのみ起きて居り且つ直徑が相當大なる場合には (5) 式の價は (3) 式の價と大體一致す



るので、實用的には (5) 式を用ひて支障ない。なほ以上の計算に

於て求め得た各溫度に於ける炭素の擴散率 k の價の平均値を見るに大體第 4 圖の如き對數曲線に近いものとなり、Bramley & Jinking⁴⁾ の計算値及び石原氏⁵⁾ の實測値と同様な變化を取ることが知れるのである。

又 (5) 式を用ひて脱炭の進行状態を見るに次の如くなる。(5) 式に於て x が或る價となる、 $w = W$ (一定) となつて其れ以上如何に x が増大しても w は増加しないことになる。よつて今或る時刻に於て多少とも脱炭を受けた點までの距離即ち脱炭の影響の及んだ層の厚さを δ とすれば

$$2/\sqrt{\pi} \int_0^{\delta/2\sqrt{kt}} e^{-\xi^2} d\xi = 1$$

$$\delta/2\sqrt{kt} = e \quad (\text{恒數})$$

$$\therefore \delta = 2\sqrt{kt} \dots \dots \dots (6)$$

となり k が終始一定であれば、 δ 即ち脱炭の深さは時間

⁴⁾ Bramley & Jinkings; Journal of the Iron & Steel Inst. 1926 (Carnegie Scholarship Memoirs).

⁵⁾ 石原; 東北帝大理科報告 No. 4. 1924.

と拋物線の關係を有することとなる。かゝる事實は多くの實驗に於てよく認められることである。

以上の理論によつて見るに(CO+CO₂)瓦斯によつて脱炭が行はれる時には、内部より炭素が外表に擴散して來て表面で酸化されて行くものであることが考へられる。

但し以上は鋼がオーステナイト單一相の時にのみ於て當倣る取扱であつて、之れにα地鐵の混じ來る如き溫度に於ては多少異つたことになる。又 Austin の實驗に見る如く水素瓦斯の如き容易に鐵鋼内に侵入し得るものを用いた場合に於ては脱炭が單に炭素の擴散にのみよつて進行するものと考へられるや否や、此等の問題に就ては追つて論ずることとする。

3. 白銑鑄鐵の脱炭部の炭素分布

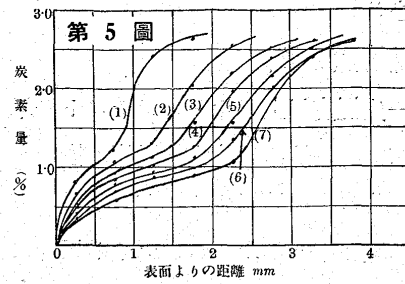
鋼の脱炭後に於ける内部の炭素分布から其の脱炭機構の様子を推定し得たので、次に白銑鑄鐵を脱炭した時の炭素分布を實測したのである。試料は直徑 14mm、長さ 40mm の圓筒形であつて全面グラインダーで仕上げた。

かゝる試料を同一の鑄物から各 7 本作り、夫々試料 1 本と 10gr のスケール(酸化鐵)とを内徑 20mm、長さ 70mm の鐵管内に詰め、螺子で密閉し電氣爐内に入れて加熱した、脱炭の溫度は一定とし自動溫度調節器によつて長時間 ±2°C の相違範圍に保ち、約 12 時間毎に 1 本づつ爐外に取出し、鐵管ごと空中放冷を行つた。かくして脱炭を行つた試料は其の一端から長さ 10mm だけ顯微鏡試料を取り、他端 5mm は切り捨て、中央部は旋盤によつて表面から 0.5mm づつ削り取り、各層の炭素分析を行つて試料内の炭素分布を測定した。

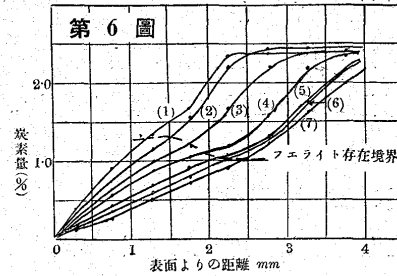
白銑鑄鐵は一般に高溫加熱中に黒鉛化を起すので、此の實驗に於ては黒鉛化の容易なものと、困難なものとの二種の材質に就て行ふことにした。

(a) 黒鉛化困難なる場合 此の場合に使用した試料は C 2.75、Si 0.22、Mn 0.62、S 0.013、P 0.078 なる成分で脱炭溫度は 940°C であつた。

其の各時刻に於ける脱炭部の炭素分布の状態は第 5 圖の如くである。之れによつて見るに白銑鑄鐵を脱炭した時には鋼の場合の如く簡単な炭素分布を取らず炭素量 0.9% 附近に於て炭素量の變化が一時極く僅になり、之れを過ると急に炭素量を増加して居る。此等の炭素量分布の様子は顯微鏡によつて明に其の變化を認めることが出来る。第 7 圖



- (1) 12 時間
- (2) 23 "
- (3) 36 "
- (4) 48 "
- (5) 60 "
- (6) 70 "
- (7) 84 "
- (48時間以上のものは多少黒鉛を析出せり)



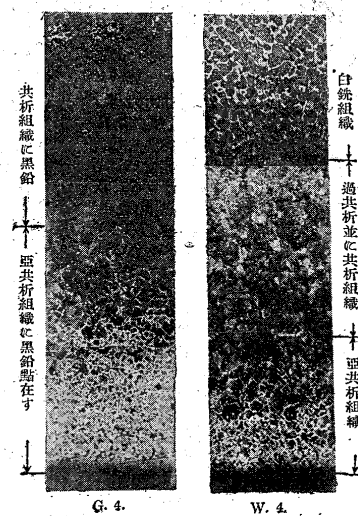
- (1) 19 時間
- (2) 31 "
- (3) 43 "
- (4) 55 "
- (5) 67 "
- (6) 79 "
- (7) 91 "

W4 は 48 時間脱炭を行つた後の組織の變化である。之れによつて見るに表面に近い部分は炭素量極く少く其れより次第に内部に進む程パーライトを増し、遂にはパーライトのみの層が廣く出現し、次に之れに網狀セメンタイトを混じ、最後は共晶セメンタイトが出現してゐる。

(b) 黒鉛化容易の場合 容易に黒鉛化させる爲めに試料は C 2.51 Si 1.15 Mn 0.22 P 0.161 S 0.035 なる成分のものを採つた。

實驗方法は前と同様で溫度は 960°C で行つた。其の結果は第 6 圖の如くである。此の場合には前の如く明な一定の形式で脱炭されてゐないが、フェライトが無くなる附近

第 7 圖



に多少炭素量の變化の少い部分がある。其の顯微鏡的組織の變化は第 7 圖 G4 の如くで、内部は完全に黒鉛化し多くの燒鈍炭素を析出して居る。脱炭部はフェライトが深く侵入して居るが、フェライトの澤山存在する亞共析組織の部分になほ黒鉛が消失せずに残留して居ることが認められる。

以上の實驗結果に對しての説明は鋼の場合の如く簡單には出來ない、Schwartz⁶⁾も曾て可鍛鑄鐵の内部の炭素分布を實測したが、其の複雑なる變化に對して説明の方法を

⁶⁾ Schwartz; American Foundrymen's Association. 1928.

發見し得なかつたのである。

4. 白鉄鑄鐵の脱炭機構

鋼の場合の如き或る一定温度以上でオーステナイトの單一相となるものに對しては、前述の如く大體脱炭の機構として炭素の擴散の法則がそのまま適用されるが、鑄鐵の場合には 900~1,000°C の範圍ではオーステナイト以外に遊離セメントイト又は燒鈍黒鉛が共存するので、自然問題は複雑となる。先づ茲には黒鉛化の起きない場合の脱炭の機構を考へ、次には黒鉛化の影響を合せて考へることとする。

白鉄鑄鐵を脱炭する時、共析組織の附近が長く延びて、パーライト層なる一層をなすことに就ては、古く Wüst⁷⁾ Hatfield⁸⁾ 等にも認められ、其の生成の理由も説明されて居る。Wüst は脱炭作用は周囲の瓦斯の侵入、脱出にのみよるものとの考へから、此のパーライト層の發生は内部の脱炭と同時に此の部分に滲炭が起るのであると説いてゐるが、此の Wüst の考への誤は Hatfield によて批判されてゐる。Hatfield は脱炭に對し炭素擴散説により此のパーライト層の發生に對して、次の如き説明を行つてゐる。即ち冷却の途中内部はなほ炭素量が高いので黒鉛を自由に析出し、外部は炭素を充分に失つてゐるので、フェライトを析出し、其の中間にある層は其の炭素を外方に擴散することも出來ず、且つ炭素を遊離する程充分にも含有してゐないので、最後に共析成分の部分に帶狀に残るのである。冷却の途中かゝる變化の起ることは考へられるのであるが、脱炭を行つた温度から冷却しても、やはり此のパーライト層は充分發生するので、之れをたゞ冷却の途中に於ける變化とのみ考へることは出來ず、是非脱炭の進行中既に炭素分布がかゝる状態を取つて居るものと考へねばならない。著者は以下鋼の場合と同様な炭素擴散説によつて此等の現象を説明して見たのである。

白鉄鑄鐵の内部にはオーステナイトと之れに混在するセメントイトがあるが、炭素の擴散の起る部分はオーステナイトであつて、セメントイト内では炭素の擴散が起ることは考へられない。

よつてオーステナイトの部分とセメントイトの部分とを別々に考へることとする。先づ擴散の起るオーステナイトに就て見るに、其の炭素擴散は平面境界として次の如き

式となる。

$$\frac{\partial u}{\partial t} = k \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + Q \quad (7)$$

u = オーステナイト中の炭素濃度

Q = セメントイトより溶出する炭素量

然るに此の Q なる値が複雑な關係を有するのである。先づ Q は u 即ちオーステナイト中の炭素濃度の或る函數であつて、 u が S 即ち其の温度に於けるオーステナイトの炭素飽和量より小なる時にのみ或る價を取るのである。

$$Q = \phi(u) \quad (8) \quad \text{但し } u = S \text{ の時には}$$

$$\phi(u) = 0 \quad u < S \text{ の時には } \phi(u) > 0$$

次に Q を出すセメントイトは有限量を有するものであつて、一定量の炭素を出せば其の位置のセメントイトは消失してしまふのである。よつて Q は次の如き條件をも満足せねばならない。

$$\int_0^{\infty} Q dt = (W - S) \quad (9)$$

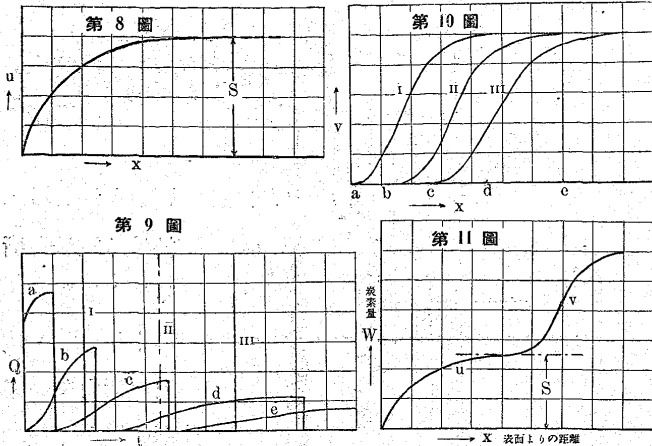
W = 白鉄鑄鐵の最初に含有せる全炭素量

かゝる複雑な意味を有する Q を入れて(7)式を解くことは非常に困難であるが、此等の式の示す大體の變化は容易に推定することが出来る。

先づオーステナイト中の炭素分布は第 8 圖の如く $x=0$ に於て 0 であり其れより x が増加するにつれ次第に増加して $u=S$ に接することになる。次に Q の變化を見るに Q は位置によつて異なり大體第 9 圖の如き變化を起すべきである。圖の (a) は極く表面に近い部分で、急に脱炭が起る爲め Q は急に増すが、それだけ早く消滅してしまふ。(b) は其の次の層で、最初は Q は 0 であるが、直に脱炭が進んで來るので、其れにつれ Q も増加することになる。(c), (d), (e), 等はなほ内部の位置のものを示したもので、或る時間の間は其の周圍まで脱炭が進んで來ないので Q は 0 であつて、其の部分に脱炭の影響が及ぶに至つて次第に増加することになる。而して内部程脱炭の影響が緩であるので Q の増加率は少ないことも當然考へられるのである。然るに Q には(9)式の條件があるので、 Q の曲線は何れも或る時間以上繼續することが出來ず、 Q の曲線と t 軸との間に作る面積が一定の價即ち $(W-S)$ になれば其の點で Q は消滅してしまふべきである。よつて今の場合 a, b, c, d 各々の其の下に作る面積は夫々相等しいことになる。

Q が上述の如き變化をなせばセメントイトとして存在する炭素量は直ちに知ることが出来る。今其の炭素量を v と

7) & 8) Hatfield; "Cast iron in the light of recent research."



すれば、 $v = W - \int_0^x Q \cdot dx$ なる関係になるので、或る時刻 I. II. III に於て第 9 圖を切れば、第 10 圖の如き \$v\$ の分布圖が求められる。よつて脱炭部の全炭素分布はオーステナイト内にある炭素量 \$u\$ と、セメントイトとしてある炭素量 \$v\$ との和を求めればよいのであるが、茲にセメントイトからオーステナイト中に炭素が溶出する際には、其の溶出は容易であつてセメントイトが存在する周囲は常にオーステナイトは其の温度に於ける飽和状態にあるべきである。従つて \$u\$ と \$v\$ とは第 11 圖の如く接續すべきである。

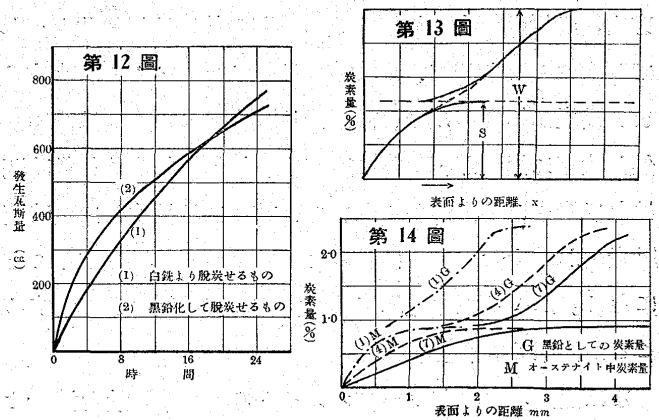
以上の如くして白鉄鑄鐵の脱炭部の炭素分布の變化を、炭素の擴散によつて説明し得たのである。勿論なほ之れを徐冷すれば Hatfield の説の如き現象も起り、パーライト層の發達を助成することにもなる。

5. 脱炭と黒鉛化との關係

白鉄を \$A_1\$ 點以上で焼鈍する際には内部のセメントイトの分解によつて遊離炭素を析出する。即ち黒鉛化現象を起すものである。此の遊離炭素の析出が脱炭に對して如何なる關係を有するか次に考究することとした。

古く Wüst⁹⁾ は鑄鐵の脱炭は遊離炭素の酸化によるとの見界から遊離炭素の析出は脱炭の必要條件の如く考へられたのであつたが、Hatfield¹⁰⁾ は反對に遊離炭素の析出は脱炭を妨害するものであるとの實驗を行つてゐる。然るに Hatfield の實驗も黒鉛の析出を含有 \$Si\$ 量によつて加減してゐるので、其の實驗は遊離炭素の影響でなく寧ろ \$Si\$ の影響を測定せる如く思はれるのである。著者は全く同一の材料に就て次の如き方法によつて之れに關する實驗を行つた。試料の成分は普通の可鍛鑄鐵の原材であつて黒鉛化

の容易なものである。先づ之れから長さ 60mm、直徑 20mm の丸棒を作り、熱膨脹測定器に入れ 950°C で焼鈍し充分黒鉛化を完了せしめ、之れから旋盤を用ひて長さ 40mm、直徑 14mm の試料を作つた。而して一方他に同一原材から白鉄のまゝ同一の大きさの試料を作り、此等二者に就て脱炭の遲速を實測した。測定方法は第一報に記載した装置により、スケール 4r を用ひ温度は 950°C で行ひ加熱中發生して來る瓦斯量によつて脱炭量を測定した。其の實驗結果を見るに第 12 圖の如くであつて、既に黒鉛を充分析出したものの方が最初は遂に脱炭が速であるが、約 10 時間後には寧ろ白鉄から行つたものよりも遅くなつてゐる。



かゝる實驗結果と、前に述べた容易に黒鉛化を起す場合の脱炭部の炭素分布の實測結果とを綜合するに、黒鉛の存在が脱炭に及ぶ影響を前述の炭素擴散現象によつて次の如く説明することが出来る。セメントイトの場合には其炭素をオーステナイトに溶出して炭素を失へば其れ自身オーステナイトとなるのでセメントイトが完全に消滅するまで包圍せるオーステナイトと密着して居り、其の溶出の關係には變化なく、常に其の周囲のオーステナイトは飽和状態にあるべきである。焼鈍黒鉛の場合には其の炭素が溶出する際かゝる簡単な關係でない。先づセメントイトが黒鉛化し遊離炭素を析出する時には全體として容積を増加する。而して其の黒鉛の一部が周囲のオーステナイト中に溶出しても其れに伴つて收縮は自由に起き得ないが故に、黒鉛とオーステナイトとの間に多少の間隙を作り次第に黒鉛からの炭素の溶出が減少し、遂には黒鉛の周囲が不飽和オーステナイトとなるも之れに充分の炭素を與へることが不可能となる。かゝる點がセメントイトの場合と異なるので、オーステナイト中の炭素量と、黒鉛としての炭素量とは第 13 圖の如く連続しないことになり、黒鉛よりの脱炭とオーステナイト中の脱炭とが密接な關係を失ふことになる。今第 6

9) 10) 前出

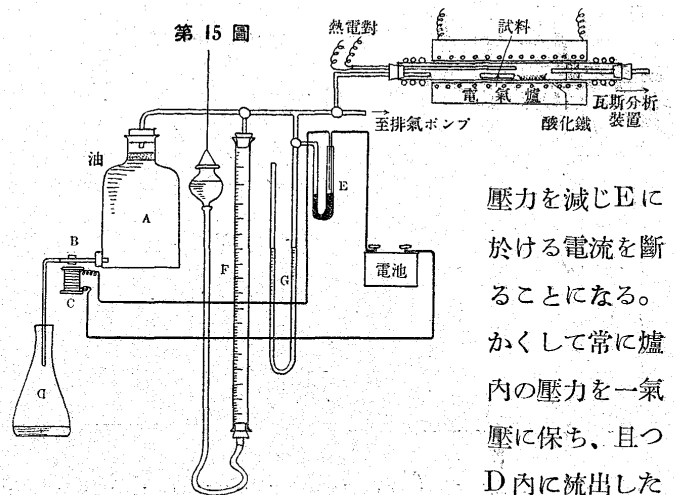
圖の實測結果をオーステナイト内の炭素分布と、黒鉛としての炭素分布とに分けて見るに第 14 圖の如く作圖することが出來、上述の理論によつてよく説明することが出来る。次に脱炭の遲速の問題を見るに、セメンタイトが黒鉛とオーステナイトとに分解してゐる方が、セメンタイトそのまま存在する場合よりも遙にオーステナイトの量が多いので脱炭には好都合であるべきである。實際黒鉛よりの炭素の溶出が充分な場合に實驗の最初の内脱炭は非常に速であるが、間もなく表面に近い黒鉛は上述の間隙生成により炭素の溶出が鈍くなり、黒鉛を其の場に残留して脱炭は次第に深部に進行する。而して其の脱炭率は次第に減少する。他方白鉄脱炭の場合に於ても或る時間の後には黒鉛化を起してしまふのであるが、先づ最初はセメンタイトの存在するまゝ脱炭が起きるので、前者に比較すれば其の脱炭は少い。然し次に黒鉛が析出して來ても、黒鉛の析出後相當時間には炭素の溶出が弱らないので前者に比較すれば長時間脱炭量が減少せず遂には前者よりも脱炭量が増加することになる。かゝる理由を以て第 12 圖の實驗結果を説明することが出来る。

なほ黒鉛の存在がオーステナイトの炭素飽和量を減少せしむる如き説もあつて、かゝる考を入れる時には此の黒鉛化と脱炭の關係に就いてもなほ考究すべき問題を生ずるのであるが、此等の問題はなほ研究の上論じたいと思ふのである。

6. 脱炭に対する成分の影響

鋼の脱炭に対する成分の影響に関しては既に二三の研究が發表されてゐるが、鑄鐵に関しては殆んど文献がない。著者は異つた二方法によつて、C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr 等の各成分の脱炭に対する影響を實驗した。

(1) 間接法による測定 之の方法は第 1 報に於て爐内瓦斯成分の變化を研究したものと同一の装置の一部を改良して、脱炭中の發生瓦斯量から全脱炭量を求めたのである。装置は第 15 圖の如くで其の電氣爐の部分並に F, G なる瓦斯量測定装置は前と同様であるが、今度は G なる油入壓力計に並行して水銀入の E なる小壓力計を附し、これに 1 本は常に水銀中にあり、1 本は水銀面上面に極く接近して存在するマイクロ線を並置し、爐内の壓力が増加すれば此の 2 本の線が水銀を介して相接續し、C なる電磁石に電流を通づることになる。C なる電磁石に電流が通れば、B なる栓が開いて A なる瓶の水を流下し爐内の



壓力を減じ E に於ける電流を断ることになる。かくして常に爐内の壓力を一氣壓に保ち、且つ D 内に流出した

水量から或る時間内の瓦斯發生量を知る如くした。

實驗の方法は第 1 報にある方法と同様で、先づ爐内の空氣

第 1 表

附號	C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	脱炭後の黒鉛
C 1	1.87	0.72	0.22	0.031	0.141	0	0	◎ △
C 2	2.12	0.75	0.22	0.034	0.141	0	0	◎
C 3	2.51	0.80	0.20	0.032	0.141	0	0	◎
C 4	2.82	0.83	0.19	0.032	0.151	0	0	◎ *
Si 1	2.29	0.28	0.12	0.040	0.073	0	0	● □
Si 2	2.22	0.59	0.17	0.036	0.113	0	0	◎
Si 3	2.32	0.87	0.20	0.035	0.151	0	0	◎
Si 4	2.34	1.16	0.23	0.037	0.145	0	0	◎
Mn 1	2.42	0.52	0.18	0.010	0.040	0	0	◎
Mn 2	2.41	0.50	0.58	0.007	0.040	0	0	● □
Mn 3	2.43	0.48	0.95	0.006	0.040	0	0	□
Mn 4	2.58	0.40	1.28	0.008	0.042	0	0	□
Mn 5	2.36	0.40	1.65	0.008	0.044	0	0	□
P 1	2.37	0.53	0.25	0.011	0.030	0	0	◎
P 2	2.40	0.43	0.23	0.012	0.166	0	0	◎
P 3	2.44	0.47	0.22	0.010	0.380	0	0	◎
P 4	2.40	0.53	0.25	0.010	0.390	0	0	◎
S 1	2.43	1.10	0.26	0.043	0.178	0	0	◎
S 2	2.43	1.08		0.065		0	0	◎
S 3	2.41	1.10		0.093		0	0	◎
S 4	2.30	0.98		0.130		0	0	● □
Ni 0	2.80	0.15	0.17			0	0	● □
Ni 1	2.84	0.13	0.18			0.34	0	● □
Ni 2	2.77	0.12	0.18			0.58	0	● □
Ni 3	2.78	0.15	0.20			0.88	0	● △
Ni 4	2.83	0.15	0.19			1.16	0	◎
Cr 0	2.82	0.39	0.14			0	0	◎
Cr 1	2.90	0.42	0.12			0	0.23	● △
Cr 2	2.80	0.37	0.10			0	0.45	△ □
Cr 3	2.80	0.45	0.10			0	0.71	□
Cr 4	2.78	0.45	0.12			0	1.28	□

空欄は分析を行はざるも大差なき筈

*最初よりやムモットルあり

- ◎ 充分黒鉛析出す
- やム多く黒鉛析出す
- ▲ 僅に黒鉛析出す
- 殆んどセメンタイト變化せず
- やムセメンタイト減少す
- △ 僅にセメンタイト残留す

を排気ポンプで一度排出して、濃流酸並に鹽化カルシウム層を通し洗滌乾燥したる空気を導入し、電流を通じ約1時間で温度を950°Cまで上げ此の點でShauvin自動温度調節器により約±2°Cの恒温度に保ち長時間に互つて其の脱炭に伴ふ發生瓦斯量を測定した。

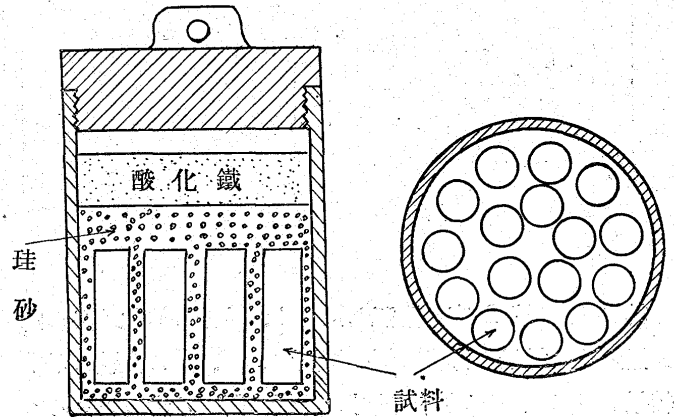
試料の各成分は第1表の如くで、大體可鍛鑄鐵製造の原料を標準としたものである。又試料の大きさは20mmの丸棒に鑄造したものから旋盤で仕上げ、直径14mm、長さ40mmにし、全表面はグラインダーで磨いた。かかる試料に並置して毎回3grのスケールを封入した。

かくして求め得た發生瓦斯量の變化の圖は茲に省略し、8時間後並に16時間後までの發生瓦斯量を以て其の間の脱炭の遲速を示すものとし、次の直接法の結果と共に第17~23圖に示した。

(2) 直接法 前の間接法に於てはスケールを其のまま使用したので、試料の表面が黒色になるまで酸化してゐて、

其のまま重量の差異から脱炭量を定めることは出来なかつたので、今度はスケールを一部還元させ、爐内の瓦斯を脱炭期¹¹⁾の状態にのみある様にして試料の重量を直接測定して脱炭量を求める方法を探つた。又前の間接法に於て、試料の成分は實際作業に近いものを標準にしたが、今度は配合原料を吟味してなるべく不純物を少なくすることに力めた、各試料の成分は第2表の如くである。實驗方法は試料を直径の丸棒に鑄造し、長さ25mm、直径10mmに仕上げ、第16圖の如き鐵の圓筒中に入れ上部に上述の如き酸化鐵を試料全重量の20%詰め、上より捻子で密閉した。かかる圓筒を2箇づ、電氣爐内に入れて、950°Cで加熱し、6時間、15時間及び24時間後に夫々試料を圓筒ごと爐内より取出しそのまま空中冷却を行ひ、各回全試料の重量を測定し、其の重量の減少を以て脱炭量と見たのである。かくして實驗を行つた試料は表面銀白色を呈し、少し

第 16 圖



第 2 表

符號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	脱炭後 の黒鉛
C 1	3.10	0.19	0.20	0.028	0.011	0	0	●
C 2	2.82	0.18	0.21	0.028	0.018			○
C 3	2.42	0.18	0.21	0.032	0.013			●
C 4	1.99	0.17	0.23	0.032	0.014			▲
Si 1	2.40	0.20	0.23					●
Si 2	2.45	0.39	0.25					○
Si 3	2.45	0.71	0.30					●
Si 4	2.48	0.79	0.35					○
Si 5	2.46	0.95	0.32					▲
Mn 1	2.92	0.19	0.24					●
Mn 2	2.85	0.16	0.80					○
Mn 3	2.81	0.19	1.07					●
Mn 4	2.83	0.20	1.37					○
Mn 5	2.93	0.17	2.00					▲
P 1	2.41	0.24	0.28	0.116				▲
P 2	2.40	0.14		0.208				●
P 3	2.38	0.28		0.418				○
P 4	2.37	0.29		0.594				▲
S 1	2.73	0.24	0.27		0.020			▲
S 2	2.72	0.23			0.065			○
S 3	2.61	0.21			0.066			●
S 4	2.68	0.22			0.127			○
Ni 1	2.35	0.17	0.24			0.31		▲
Ni 2	2.35	0.22				0.55		●
Ni 3	2.41	0.16				0.79		○
Ni 4	2.39	0.20				1.34		▲
Cr 1	2.67	0.21	0.24				0.32	▲
Cr 2	2.76	0.22					0.69	○
Cr 3	2.80	0.21					0.94	●
Cr 4	2.78	0.20					1.43	○

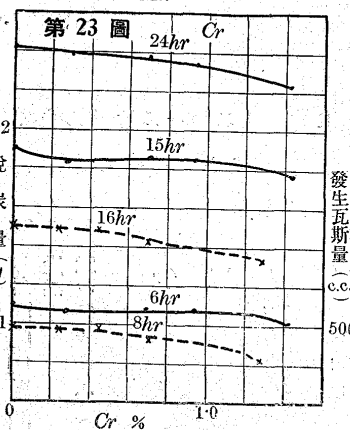
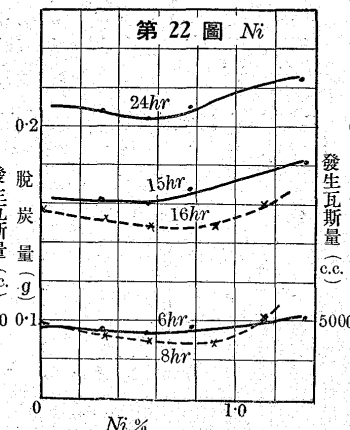
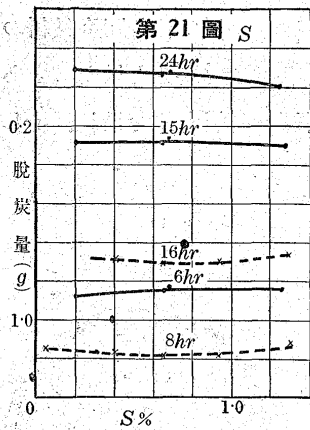
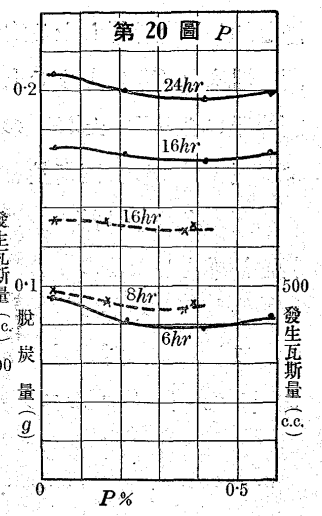
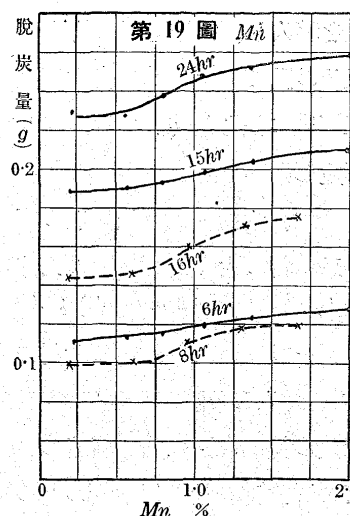
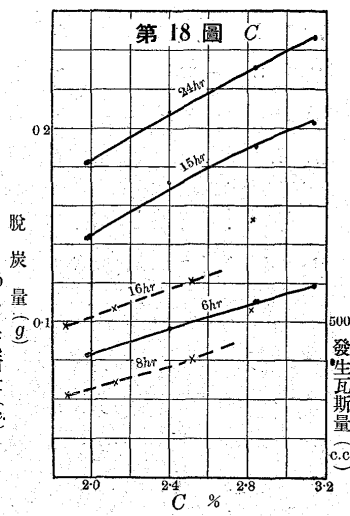
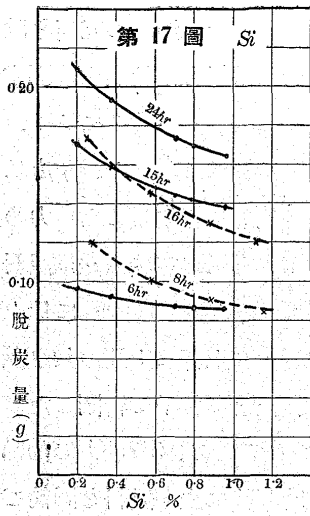
○充分黒鉛析出す □殆んどセメントイト變化せず
 ●やゝ多く黒鉛析出す □やゝセメントイト減少す
 ▲僅に黒鉛析出す △僅にセメントイト殘留す

も酸化されてゐなかつた。又實驗には各々同一試料4本乃至2本を用ひて、結果は其等の平均値を取つたのであるが、鑄物のことなれば内部に鑄巢、ひけ等の缺點が生じて居るものもあつたので、かかるものは結果からは取除いた。

此の二方法に依る結果は充分に一致したものととはならなかつたが、大體の傾向ではほぼ一致してゐた。第17圖乃至第23圖は此等の結果を示したもので、圖中實線は直接法によるもの、點線は間接によるものである。

此等の結果に見る如く炭素の増加はほぼ直線的に脱炭量を増加して居り、Siの増加は脱炭量を減少し、Mnは多少増加する傾向を示して居る。其の他の成分は大なる影響を示してゐないが、Pは0.2%以下に於ては脱炭量を減じ、Sは明な影響を示さない。Niは0.8%附近以上では多少脱炭量を増し、反對にCrは減することになつてゐる。

11) 著者、第一報 鐵と鋼 昭和8年12號



3. 白鉄鑄鐵の黒鉛化によつて析出される黒鉛の點在が其の脱炭に對して如何なる影響を及すかを實驗し、且つ之れに對しても炭素擴散說によつて説明を行つた。

4. 白鉄鑄鐵を脱炭する場合にセメントイト又は遊離炭素は其の周圍の

第1表、第2表に附記した如く、成分の變化は必然的に黒鉛化の様子を非常に變へて居るので、此の實驗の示す結果を以て直ちに直接に成分の脱炭に對する影響と見ることが出来るや否や疑問が存する。

附 記

本研究の實驗並に説明は 900°C~950°C の高温に於ける脱炭に付いてであつて、A₃ 點以上に於てのみの議論であるが、之が A₃ 點以下で徐冷せられるとき、又は A₃ 點以下の温度に保持せられる場合に於て、α 地鐵の析出を起し、以上の理論に従はない種々の現象を起すものである。此等の事項に於てはなほ重ねて發表する機会に譲る。

7. 結 論

以上述べ來つたことを次の如くに要約する。

1. Johansson & Von Seth の實驗結果により鋼の脱炭の機構を考察し、其の脱炭は内部の炭素の擴散によるものであることを數式的に證明し得た。
2. 白鉄鑄鐵は其の脱炭に伴ひ複雑なる炭素分布をなすことを實驗的に測定し、其の複雑なる變化に對しても上述の炭素の擴散說によつて説明をなし得た。

オーステナイト内に溶出し、オーステナイト内に於て炭素は濃き方より淡き方に擴散せられ、表面に於ては雰圍氣に依つて酸化せられる。

5. 脱炭の遲速を生ずるは (1)オーステナイト内の炭素の擴散率、(2)オーステナイトの炭素飽和量、(3)炭素源(セメントイト又は黒鉛)よりの炭素の溶出度 (4)黒鉛化の難易等の諸性質の組合せによる。

6. 各種成分即ち C, Si, Mn, P, S, Ni, Cr, 等の脱炭に對する影響を實測した。

本研究は昭和七年來戸畑鑄物株式會社冶金研究所に於て行はれたものであつて、なほ現に研究が續けられてゐる。此等の研究に對し常に御指導に與りし菊田博士に對し、其の公表を許されし戸畑鑄物株式會社に對し深く感謝する次第である。