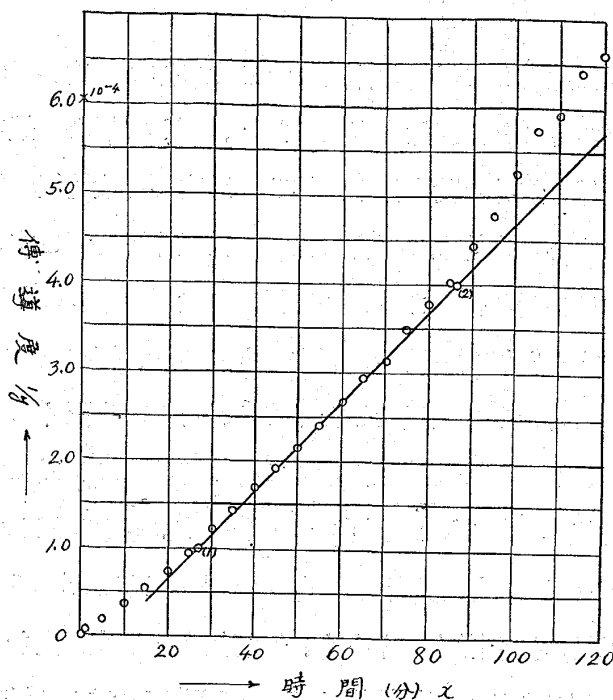


第9圖 開平炭



可鍛鑄物製造に於ける充填物質に就て

菊田多利男

ON THE PACKING MATERIALS IN THE MALLEABLE IRON FOUNDRY.

Tario Kikuta:

In the malleable iron foundry, it is generally believed that packing material is very important in annealing white cast iron to get a good malleable iron casting, but as the theory of annealing white iron has shown, the packing material is not necessary to make black heart malleable cast iron, although it is very important in obtaining white heart malleable which is manufactured by decarburizing castings. The author made a special installation and measured the decarburizing amount by the evolved gas during heating white iron castings at a high temperature; by this experiment it was possible for him to explain the mechanism of decarburization.

In addition, the author measured the following effects:-

- (1) The effect of the temperature on decarburization of castings when packing material is not used;
- (2) The effect of the amount of iron oxide on decarburization at a constant temperature;
- (3) The effect of the temperature on decarburization when packing material is used;
- (4) The effect of various oxidizing materials on decarburization when they are added to iron oxides.

After these effects were thoroughly examined, the author annealed several test pieces of white cast iron of same material in a large furnace with and without packing material, and tested the annealed pieces in these two cases. The effect of decarburization upon the tensile strength and the tenacity was also studied.

Finally, the author measured the thermal conductivity of several packing materials and recommended an ideal process of annealing white iron castings for the production of black heart malleable iron.

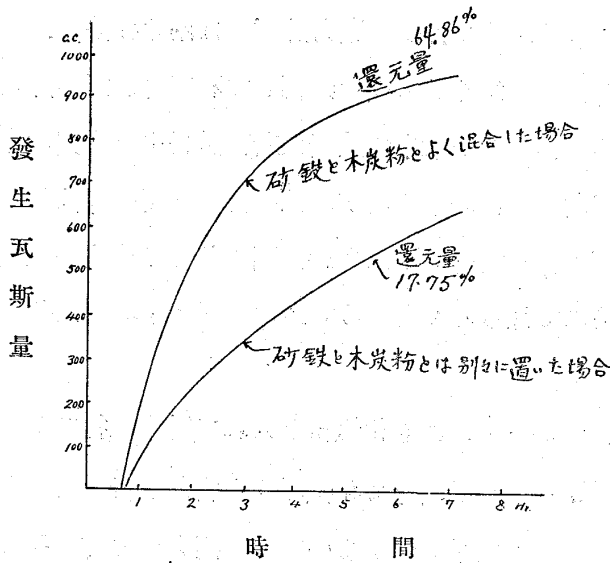
I 緒 言

黒心可鍛鑄鐵は白鉄鑄物に主として黒鉛化作用を起させて作り、白心可鍛鑄鐵は主として白鉄鑄物を脱炭せしめて作るものであることは既知の事柄である、而して黒心可鍛鑄鐵の場合にも白鉄鑄物を高温度に保ち焼鈍をなす関係と幾分の脱炭作用が伴ひ、又白心可鍛鑄鐵の場合には脱炭と共に黒鉛化作用の伴ふものである。白心可鍛鑄鐵の場合には此の脱炭作用を起さすことは必要条件の一つであるが、黒心可鍛鑄鐵に於ては黒鉛化作用さへ完全に行けば脱炭は第2の問題で、その製品の種類に依りては却つて脱炭を避けた方が良好なる結果を齎すこともある、例へば瓦斯管の継手の如きものは若し白鉄鑄物の焼鈍途中に於て可なりに脱炭せしむる時は、その表皮近く 1 mm か 1.5 mm 位は殆んど脱炭してフェライトの層を生成する爲め、焼鈍後に於て行ふ螺旋切りに於て材質粘きためその切屑が工具に捲きつき、工具の切削能率 (Cutting efficiency) を害す。これに反して此の脱炭を極度に減じて表皮近くに於てもフェライトの地に焼鈍炭素 (Temper carbon 又は Graphitic carbon) の粗粒を點在せしむる時はその切屑の工具に捲き附くこと少く、切削能率を極度に高むることが出来る。又一方自動車用品及送電用品等に使用せらるゝ可鍛鑄鐵は不時の衝動等に堪ふる様充分大なる抗力を附與する必要があるを以て、かゝる場合には表皮附近をなるべく脱炭せしめ遊離炭素の量を少なからしむることが必要となる。かくの如く可鍛鑄鐵製造工業に於てそれが白心にせよ、黒心なるにせよ、此の脱炭なる現象を知悉することは極めて肝要の事柄で、此處に白鉄鑄物焼鈍に使用する充填物質使用の適否が生ずるのである。而して又この焼鈍作業に充填物質を使用するときは高温度加熱中に於て起る歪を減少せしむる效あると共に、一方熱に對する不良導體たる充填物質使用のため起る燃料消費の過大其他の不利を考慮に入ること必要となる。本論に於ては白鉄鑄物焼鈍中に起る脱炭の機構を述べ、各種充填物質の脱炭能力及その熱傳導率を測定し、最後に理想的焼鈍法を説かんとするものである。

II 脱炭の機構

白鉄の脱炭を述ぶる前に砂鐵の還元を述べなければならぬ。砂鐵の還元に於て砂鐵と木炭とが密着せずとも容易に還元せらるゝものなることは良く知られて居る事柄であるが、此等のものがよく混合密着して居る程還元は容易なるものである。今第2圖の如き装置を用ひ砂鐵と木炭粉とを良く混合した場合と、炭素定量に用ふるボート様のものに此等を別々に入れたる場合とに於て、その還元速度は可なりに相違するもので、第1圖に示す如き結果が得らる。この場合木炭を高温度に加熱することにより生じた CO 瓦斯は砂鐵の酸素と作用して CO₂ 瓦斯となり、この CO₂ 瓦斯は更に木炭と作用して 2CO となり、次第に砂鐵の酸素を奮ひ CO 瓦斯の量を増し、遂には砂鐵中の酸素は殆んど還元せられて鐵のみとなるのである。つまり CO 瓦斯は砂鐵と木炭粉との間に一種の觸媒となり還元を完成するのである。酸化鐵粉と木炭粉とが良く密着して居る場合に此の還元速度の大なるは云ふを待た

第 1 圖



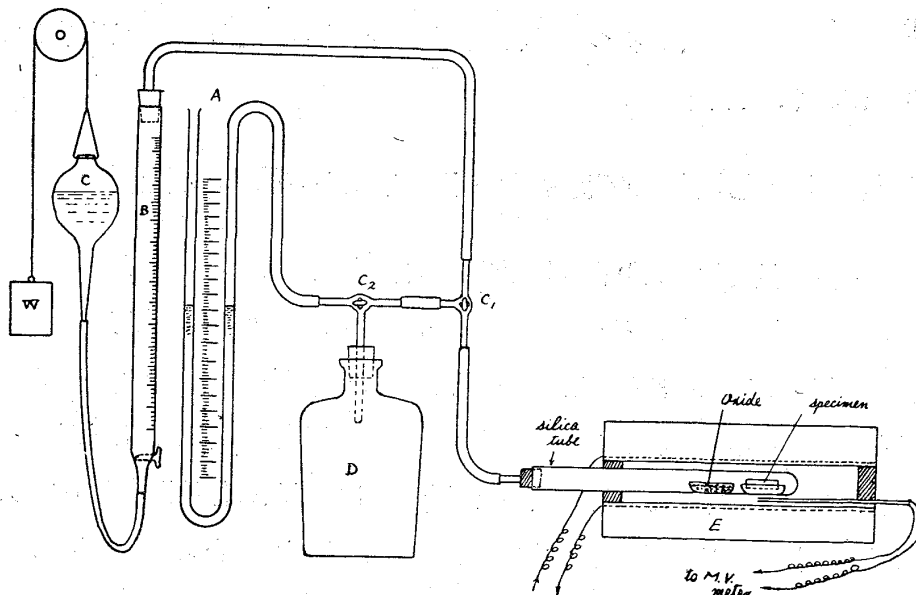
ないことである。

この砂鐵の還元に對して主客轉換せし現象が白鉄の脱炭作用となるのである。砂鐵の還元に於て之を木炭と接觸せしめずとも容易に還元せらるゝ如く、白鉄の脱炭に於ても砂鐵若くは酸化鐵粉と白鉄とを別に接觸せずとも容易に脱炭を成し得るものなること次の實驗にて明かである。而してこの場合には脱炭を行はしむる容器中にある CO_2 瓦斯が白鉄中の炭素と酸化鐵の酸素との間に觸媒として作用するものである。即ち酸化鐵と木炭とを同一の容器中にて加熱す

るときは先づ CO 瓦斯が出來、それが容易に CO_2 となる。これが白鉄中の炭素と結合し $2CO$ となるもので砂鐵の場合と全く同様に作用する。即ち何れの場合にも酸化炭素が觸媒となるもので、白鉄の脱炭は他方酸化鐵の還元を伴ふものである。

第2圖はこれより述べんとする白鉄の脱炭作用を種々の場合につき研究せる實驗装置である。圖に於て E は電氣抵抗爐で此實驗専用の電動發電機より發生する電流により加熱せられ一定の溫度に長

第 2 圖



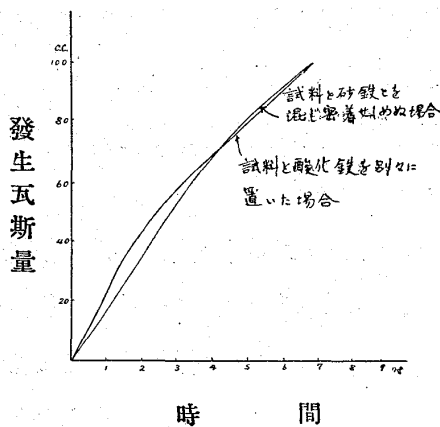
時間保持せらるゝものである、勿論中央部使用範圍の部分は一樣なる溫度分布を有す。此爐に一方を密閉し他方を種々の容器に連絡するゴム栓を有する石英管を挿入し、その中に試料を入れたる磁製ポートと酸化鐵粉を入れたるポートとを装入す此の石英管はゴム管及

び三路活栓により容器 D 水壓力計 A 及び ビュレット B に連絡す、容器 D は砂鐵の還元の如く發生瓦斯多量に出るものゝ外は普通使用せず、水壓力計 A は着色せる水にて充し發生瓦斯の氣壓を測るものでビュレット B にて發生瓦斯の容積を測定せんとするときにこれにて管内の氣壓をして一氣壓に調整するの役をなさしむ。

今電氣爐を加熱して 900° か 925° の一定の溫度に達したる時、栓 C_2 を容器 D の方に開き容器の栓を緩めて置くときは、此等管系内の壓力は外の氣壓と釣り合ひ、壓力計 A は兩水柱釣り合ふ。此の時にボトル C を加減しビュレットの水準を零に合はす、かくして栓を廻轉して石英管、氣壓計及びビュレットを連絡す、 900° の如き高溫度にては初めにありし空氣中の酸素瓦斯は試料中の炭素に作用して CO 又は CO_2 瓦斯を作り、時間と共にその瓦斯の量は次第に増す、此の發生瓦斯の量は氣壓計 A とボトル C の調整とによりビュレットの目盛より知ることが出来る、此の瓦斯の量は丁度白鉄試料の脫炭によりて生じた酸化炭素の量に等しきこと後節にて知らるゝところである。此實驗にては各 10 分毎に此のビュレットの讀みをとつた。

第 3 圖は白鉄試料を 1 つのポートに入れ置き、他のポートには酸化鐵粉を入れて脫炭を行ひたる場合

第 3 圖



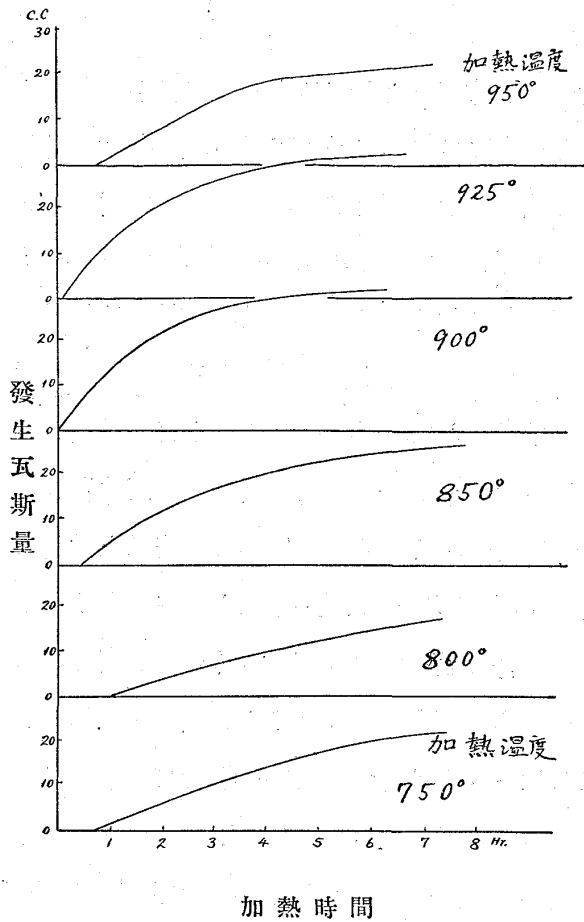
合と 1 つのポートに試料と酸化鐵粉とを密着し置きて脫炭せしめたる場合との結果を示すもので此等兩方の場合にその脫炭の速度殆んど同じく砂鐵の還元の場合と對比して興味ある事柄である、此實驗に使用した試料は約 8 mm の徑を有し長さ 50 mm 位のものにて砂鐵の如く小さきものではない。それ故にその表面の炭素が脫出した後は更に内部より炭素がこの表面に擴散し來り、 CO_2 瓦斯に働かれて脫炭するものなる故砂鐵の如く急速に作用せられぬものなることを首肯せらるべく、従つて試料と酸化酸とを別々に置いても又密着して置

いても脫炭の速度には餘り差がなくなる譯である。

III 酸化鐵を使用せざる時に於て起る脫炭に對する加熱溫度の影響

實地可鍛鑄鐵製造工業に於て酸化鐵其他の充填物を使用せぬ場合は随分多いのであるから、この場合に果して脫炭は起らぬものか若し脫炭あればどの程度にあるものなるかを知ることは肝要のことである。此實驗に於て酸化物を使用せぬ時は初めその容器内に存在せし空氣中の酸素に依つてのみ酸化又は脫炭を受けるものなるを以て此の中に存在せし酸素が全部試料中の炭素と結合したる上は、それ以上反應は進まざることが豫想せらる。第 4 圖は酸化物を使用せずして試料の保持溫度を 750° 乃至 950° まで變へた時の實測の結果で横軸には保持時間を縦軸には發生瓦斯の量を採つた。此圖より知らるゝ如く酸化物を使用せざる時は主として容器内に存在せし酸素によりて脫炭せらるゝものなる故 6 時間か 7 時間も経れば其後は殆んど脫炭せず。即ち容器内の酸素は殆んど消失したことになる。此の加熱により如何程脫炭したか實驗前後の炭素含有量を分析して見ると次表の如くなる。

第 4 圖



第 1 表

加熱温度	加熱時間	加熱前の炭素含有量 %	加熱後の炭素含有量 %	炭素減量 %	試料の重量より計算せる炭素減量 %	瓦斯の容積より計算せる炭素減量 %
750°	8-0	2.64	2.62	0.02	0.055	0.072
800°	6-30	〃	—	—	0.0553	0.046
850°	7-0	〃	2.63	0.01	0.0595	0.066
900°	6-20	〃	2.57	0.07	0.090	0.087
925°	6-20	〃	2.59	0.05	0.0673	0.057
950°	6-10	〃	2.63	0.01	0.0717	0.068

上表より脱炭の量は可なり小なることが知らるその量餘りに少きため此の炭素減量なる數値は化學分析の誤差の範圍にあることは後節にて述ぶる試料採取の方法の不適當なるため、0.01~0.07%の變動あるは已むを得ざることと思ふ。唯酸化物を使用せざる時は炭素減量 0.1% を越えぬことだけは明かとなつた。

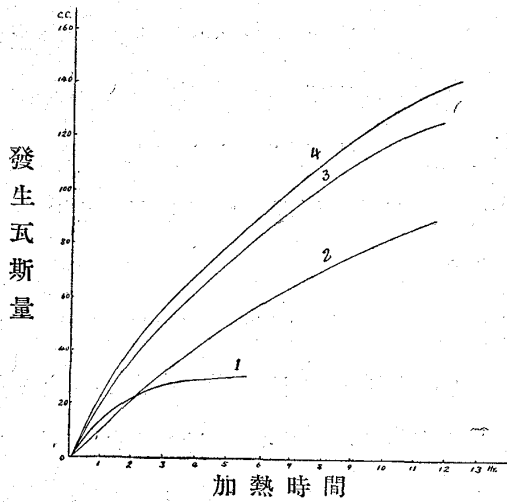
此實驗に於て試験後の試料の表面は未だ金屬光澤を失はない。即ち酸化は極めて少ないことが知られた。それ故に試験前後に於ける試料の質量を

測りその減量より失はれた炭素の量を知ることが出来る。但し此際は鐵も又極めて少しではあるが幾分酸化をなすものであるから此處に掲出した脱炭量は眞の價よりも多少なり少く出るものなることが豫想せらる。質量の差より出した炭素減量を表示すると第1表の如くなる。又發生した瓦斯の量より瓦斯中に含まるゝ炭素の量即ち試料の炭素減量を出して見ると此の瓦斯がCOなる形であるにせよ又CO₂なる場合にせよ孰れにても瓦斯量 1000 cc に對し 0.54 g の炭素が含まるゝことゝなる。而して發生した瓦斯の量が實驗より精確に求めらるゝ故、これより算出せる脱炭量は第1表に示せる如く前の重量の減量より出した脱炭量と良く一致することが知らるべく、發生瓦斯の容積が炭素減量に比例するものなること首肯するに難くない。なほ精密に此の實驗を吟味すると此の發生瓦斯が大部分 CO₂ なるときは脱炭ありても瓦斯の容積の變化は極めて少ない。又此の實驗裝置系に含まるゝ水面よりCO₂ は幾分吸收さるゝけれども上表の如く殆ど脱炭量に比例して瓦斯の發生があることなれば此の發生瓦斯の大部分はCOで從つて水面より吸收さるゝCO₂ の如き瓦斯の量も少ない譯である。實地工業上にて充填物を使用せずして燒鈍をなす場合には燒鈍ポット内の酸素が全部脱炭に使用せられた後も幾分空氣がポット蓋間の間隙より入り來るから脱炭は上表の場合よりも可なり大となるものである。

IV 一定温度に於て起る脱炭に對する酸化鐵の量の影響

前述の如く白鉄の燒鈍中に於ける脱炭は CO₂ 瓦斯の接觸作用により起るもので試料中に含まるゝ炭素と結合すべき酸素を要するものである。故に初め容器中に存在して居る空氣中の酸素を消費した後尙ほそれ以上に脱炭せしめるときは、酸化鐵の如き酸化劑を必要とするのである。此實驗に於てはヘマタイト鐵鑛粉を使用しその量と脱炭とが如何なる關係に於てあるか見るために此のヘマタイト粉の分量を種々變へて見た。此結果を曲線で表はすと第5圖の如くなる。圖に於て横軸には加熱時間を縦軸には發生瓦斯量を採つた。此際の保持温度は凡て 900° を採用した。曲線1は酸化鐵を使用せぬ場合の曲線にして前節の結果と殆んど同様である。

第 5 圖



曲線2はヘマタイト粉を試料重量の1%だけ入れた場合で、これを使用せぬ場合に比して2倍以上脱炭せらる。曲線3,4は夫々2%及4%以上のヘマタイト粉を使用せる場合で脱炭量は次第に多くなる。而して此の脱炭量及びその速度はヘマタイトの量4%を界とし、それまではヘマタイトの量と共に増せども4%以上ヘマタイトの量を増しても脱炭の速度には餘り關係なくなる、而して加熱時間を著しく長くせざる限りその脱炭量は著しき差はなくなる。これを實地工業に適用せ

んとする際即ち黒鉛化作用のみならず、脱炭作用をも行はしめ様とする場合にはその白鉄鑛物の重量の約5,6%の酸化鐵をその燒鈍ポット内孰れかの位置に置けば、その燒鈍時間中酸化鐵の充填物を使用した時と殆んど同じ程度の脱炭を行はしむることが出来るのである。但し此際は燒鈍用ポットと外界とはなるべく空氣の流通がない様に注意することが肝要である。

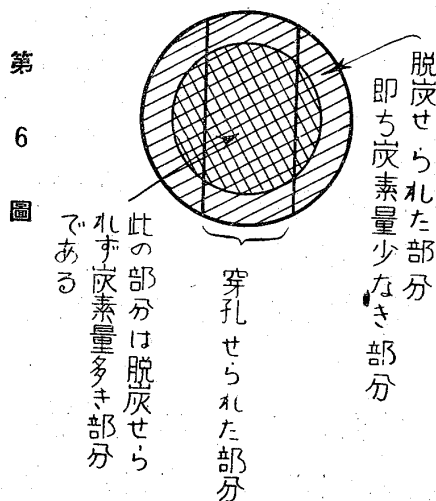
此實驗に於ける加熱前後の脱炭量其他を示すと第2表の如くなる。

第 2 表

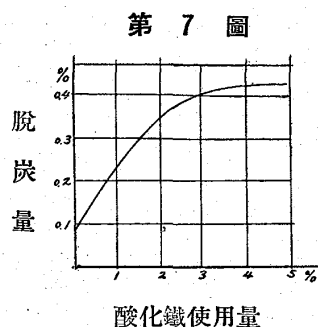
ヘマタイトの 装入量	試料の 表面積 cm ²	加 熱 時 間 時 分	加熱前 の炭素 含有量 %	加熱後 の炭素 含有量 %	分析より 出した 減炭量 %	試料の重量の 減量より出し た減炭量 %	發生瓦斯量 より出した 減炭量 %
0	14.135	6—20	2.64	2.60	0.04	0.09	0.087
1%	14.142	14—0	〃	2.45	0.19	0.243	0.260
2%	13.560	14—20	〃	2.31	0.33	0.369	0.395
4%	12.770	29—20	〃	2.25	0.39	0.668	0.760
6%	13.557	14—0	〃	2.29	0.35	0.621	0.718
8%	14.955	14—0	〃	2.22	0.42	0.898	0.723

上表の最後の2列より知らるゝ如く加熱前後の試料の減量より出した脱炭量及發生瓦斯の容積より計算せる脱炭量とは前節の場合と同様良く一致して居る。此等の價と化學分析によるものとを比較するに化學分析によるものは凡て脱炭量少くなつて居る。これ分析試料採取の際には丸棒より圖の如く

ドリルにて穿孔して取つたものであるから中心部の炭素の多い所が周縁の炭素の少ない所よりも多く採取されたこととなり、化學分析にてはその平均が求められるのである。従つて加熱後の試料の炭素量が多く出ることとなり脱炭量が小となる結果となるのである。上述のことより化學分析より出した



脱炭量よりも試験前後の試料の重量を測定するか、又は発生せる瓦斯の容積を測り、それより算出せる脱炭量の方が實際に近きものと思考される故、此處にては瓦斯の容積より算出した脱炭量にて酸化物の量の影響を見よう。此の場合には第5圖より求めらるるを以て任意の時間の脱炭量を算出することが出来る。但しこの場合には極く僅かではあるが前節にて述べた補足を要するものである。今加熱時間を 10 時間とし

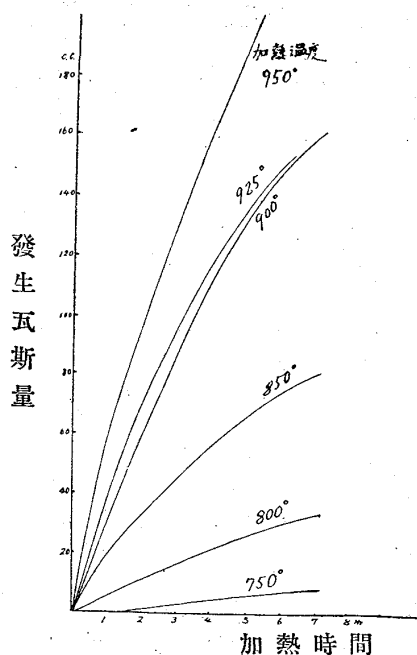


合には第5圖より求めらるるを以て任意の時間の脱炭量を算出することが出来る。但しこの場合には極く僅かではあるが前節にて述べた補足を要するものである。今加熱時間を 10 時間とし

圖の曲線より脱炭量を求めヘマタイトの量に対する關係曲線を書けば第7圖の如くなる圖は横軸にヘマタイトの量を試料の 100 分率にて表はし縦軸には脱炭量を採つた。此の曲線よりヘマタイトの量 3% までは脱炭量酸化物の量と共に急に増すが 4% 以上はその増加率極めて小となる。但し加熱時間を尙ほ著く長く延ばす時は酸化物の量を増す程脱炭量が大となる譯であるが實際の場合には 6%位のヘマタイトあれば充分脱炭の目的が達せらるゝのである。

V 酸化物を使用した時に於て起る脱炭に對する加熱温度の影響

第 8 圖



酸化物を使用せざる時は前節に述べた如くその脱炭量に對する加熱温度の影響は殆んどないと見ることが出来るが、酸化物を適當に使用するときには酸素は始終供給さるゝものなる故理論的に考へて見ても、此の温度の影響は相當にあるものと思考せらる。

此の研究に於ては酸化物として試料重量の 6% のヘマタイト粉を用ゐた。その結果を表示すると第8圖の如くなる。圖に於て兩軸の表はす數値は前回と同様である。これより酸化物を使用した時はそれを使用せぬ時と大に異り、温度の影響は非常に大となる。恰も鐵の酸化の場合と同様に鐵の A₂ 變態點を超過するに従ひその脱炭作用は著しく増加するものである、今その加熱温度、加熱時間及び脱炭量を表示すれば次表

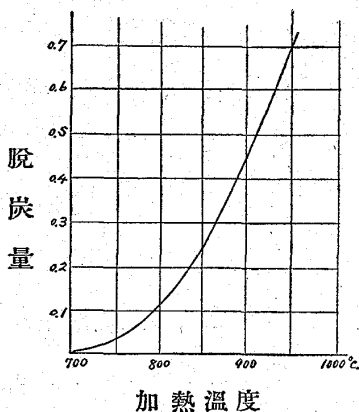
の如くなる。

第 3 表

加熱温度	加熱時間 時 分	加熱前の炭素量 %	加熱後の炭素量 %	化学分析より出した減炭量 %	試料の重量の減量より出した減炭量 %	発生瓦斯より求められた減炭量 %
750°	7—5	2.64	2.51	0.13	測定せず	0.035
800°	7—0	〃	2.45	0.19	—	0.145
850°	7—0	〃	2.50	0.14	0.189	0.272
900°	14—0	〃	2.39	0.25	0.732	0.705
925°	13—30	〃	2.14	0.50	0.825	0.894
950°	7—40	〃	2.37	0.27	9.675	0.753

この表中化学分析より出した脱炭量は曲線の如く順序になつて居らぬ。これは前述の如く試料より

第 9 圖



分析試料を採取する際の不平均なる穿孔に依るもので、此の場合は寧ろ最後の列にある発生瓦斯より計算して出した脱炭量を採つた方がよい。

加熱温度と脱炭量との関係を見るために加熱6時間後に於ける脱炭量を発生瓦斯より計算して曲線を畫くと第9圖の如くなる。此の曲線より見ると加熱温度低き時は脱炭量も極めて少なく、鐵の變態點を超過する温度より急に脱炭量が多くなり、對數曲線的に増加する。白心可鍛鑄鐵の如く脱炭を主眼とする焼鈍法にては焼鈍温度を

高め脱炭を促進せしむるは此の理に基くものである。

VI 脱炭に對する酸化劑の影響

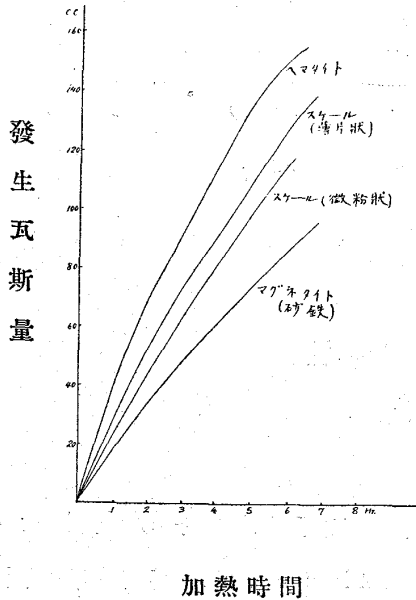
酸化鐵には種々の種類があつて自然に鑛石又は砂鐵として存するマグネタイト、リモナイト及びヘマタイトがある。又高温度に加熱せられた鐵の空氣中に於ける酸化の爲め生ずるスケール等がある。此等の酸化鐵の中には容易に酸素を放出するものと、然らざるものとがある。それ故に此等酸化物の種類により白鉄の脱炭に遲速を生ずることは豫想さるる事柄である。又硝石の如き強烈なる酸化劑を此等酸化鐵に加へる時脱炭を早めないかは興味ある問題である。此實驗結果を掲ぐれば第10及び11圖並びに第4表の如くなる。

此實驗にて採用した加熱温度は凡て 925° とし酸化物の量は試料重量の 6% とした。

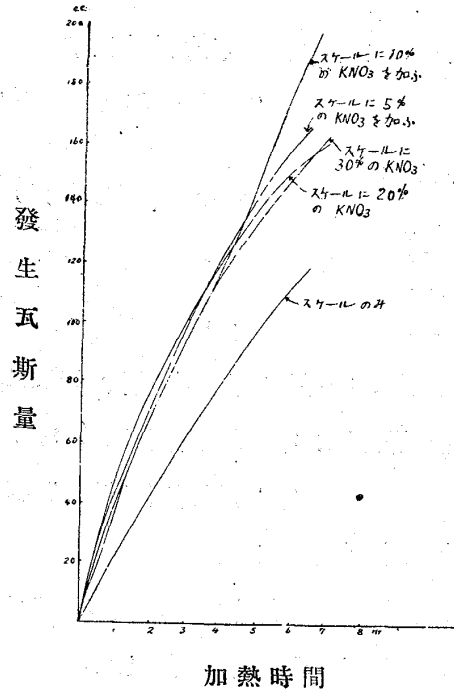
第 4 表

酸化劑の種類別	加熱時間 時 分	加熱前の炭素量 %	加熱後の炭素量 %	化学分析より求められた減炭量 %	試料の重量の減量より求められた減炭量 %	発生瓦斯より求められた減炭量 %
ヘマタイト粉	13—30	2.64	2.14	0.5	0.825	0.894
粉狀スケール	6—10	〃	2.40	0.24	0.403	0.451
板狀スケール	6—45	〃	2.46	0.18	0.568	0.617
マグネタイト砂鐵	12—0	〃	2.34	0.30	0.308	0.655
スケールに5%の硝石を混ず	6—20	〃	2.32	0.32	0.495	0.680
スケールに10%の硝石を混ず	6—40	〃	2.21	0.43	0.780	0.767
スケールに20%の硝石を混ず	6—10	〃	2.32	0.32	0.512	0.516
スケールに30%の硝石を混ず	6—50	〃	2.31	0.33	0.688	0.628

第 10 圖



第 11 圖



此等の結果より脱炭剤としてはマグネタイトは良好でなく、ヘマタイト最も良し。この現象は砂鐵の還元の場合にヘマタイトが最も還元し易くマグネタイトが難しいと云ふことに對照し良く符號することである。硝石の如き強き酸化劑を添加してもそれ程の效果なきは白銑の表面が脱炭し、内部に於ける炭素量多き所より擴散して來る炭素に作用するまで可なり時間がかるものであるし又硝石は脱炭の起る溫度より遙かに低き溫度で分解をなし酸素を發生するものである。それ故可なり多くの酸素を供給することゝなるのであるが、それ程の效果がないのである。却つて脱炭以外に鐵自身を酸化せしむるが如き芳しからぬ結果を齎することゝなる。

VII 白銑の燒鈍中に於ける脱炭が黒心可鍛鑄鐵の材質に及ぼす影響

以上述べたことに依り白銑鑄物燒鈍に於ける脱炭の機構、脱炭に對する溫度の影響、脱炭に對する酸化劑の影響等知られたが、かくの如く脱炭した結果生じた黒心可鍛鑄鐵の性質は幾何程の影響を呈するや、實地試験をなして確かめた。

此の實驗に使用した燒鈍爐は研究用として設置された電氣燒鈍爐であつて、裝入量 150 kg 乃至 200 kg であり、爐内にては此の裝入鑄物を容るゝポットとそれを被ふて爐内に固定して居る耐酸化性鑄物のポットを具へ裝入鑄物と、それを容れたポットとを酸化せぬ様保護して居る。此の二重のポットを有する爲めに、裝入鑄物の周圍の瓦斯の幾分は外に逃れ去り得るも爐外の空氣は此の内に入らぬ様になつて居る。燒鈍前後の鑄物の肌を見ればこれ等の事實を首肯することが出来る。燒鈍時間は 3 晝夜乃至 4 晝夜にて完成する。酸化劑は爐内一樣なる溫度の處なれば何處にても支障なき故、此實驗にては鍋様の容器に裝入鑄物の重量の約 5% 乃至 6% の酸化鐵を入れポット内下部に置いた數例を下

記に掲ぐれば

此實驗にて使用した試験片の化學成分は下表の如し。

試料番號	化 學 成 分				
	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
5 E-2530	2.58	1.16	—	—	—
5 E-2540	2.60	1.05	0.28	0.057	0.162
6 E-2313	2.60	1.06	—	—	—
6 E-2314	2.80	1.05	0.25	0.058	0.164

實驗 1. 装入量、製品及び試験片合計 115,240 g

爐の操作法、第 1 段黒鉛化時間 925°~980° にて 29 時間

・ 第 2 段黒鉛化時間 710° にて 49 時間

脱炭劑の量、なし。

焼鈍後の試験結果は次の如くなる。表中化學成分は焼鈍前後の炭素量だけを掲げ、他は餘り變化せぬ故省略した、而して此の分析試料として屈曲試験片 (10 mm×16 mm×26 mm) を使用せし故脱炭量は前述の丸棒よりとつた時の如き不都合にならぬ。

試料番號	炭 素 量			牽引試験		屈曲試験 屈曲角度
	焼 鈍 前	焼 鈍 後	減 炭 量	抗 張 力	伸 度	
5 E-2530	2.58%	2.52%	0.06%	33.62 kg/mm ²	12%	150°
5 E-2540	2.60	2.35	0.25	31.28	13.5	210
6 E-2313	2.60	2.39	0.21	33.00	13.0	100
6 E-2314	2.80	2.51	0.29	30.90	11.0	130

減炭量の平均=0.2025

實驗 2. 装入量、製品及び試験片共 136,400 g

爐の操作法、第 1 段黒鉛化時間 925°~960° にて 30 時間

第 2 段黒鉛化時間 710° にて 49 時間

脱炭劑の量、ヘマタイト粉 6,720 g (即ち約白鉄の 5%)

但し此處に用ゐたヘマタイトは Fe₂O₃ として約 70% 含むに過ぎない。

焼鈍後の試験結果を掲ぐれば第 7 表の如くなる。

試料番號	炭 素 量			牽引試験		屈曲試験 屈曲角度
	焼 鈍 前	焼 鈍 後	減 炭 量	抗 張 力	伸 度	
5 E-2530	2.58%	1.90%	0.68%	36.31 kg/mm ²	17%	330°
5 E-2540	2.60	2.14	0.46	34.35	14.0	200
5 E-2313	2.60	1.98	0.62	37.01	18.0	360
6 E-2314	2.80	2.22	0.58	32.01	10.0	90 { 但し鑄 巢あり

減炭量の平均=0.585%

これを前の脱炭剤を入れぬ時と比較すれば抗張力に於て大略 10% 又伸度及び屈曲度に於ても優つて居ることがわかる。

実験 3. 装入量、製品及び試験片共 125,888 g

 爐の操作法、第 1 段黒鉛化時間 925°~950° にて 24 時間

 第 2 段黒鉛化時間 710°~700° にて 49 時間

 脱炭剤の量、実験 2 と同様なるもの即ち一度前回に使用したものを再び使用する。

焼鈍後の試験結果は下表の如し。

試料番號	炭素量			牽引試験		屈曲試験 屈曲角度
	焼鈍前	焼鈍後	減炭量	抗張力	伸度	
5 E-2530	2.58%	1.79%	0.79%	37.40 kg/mm ²	16.0%	360°
5 E-2540	2.60	1.70	0.90	36.90	10.0 *	360
5 E-2313	2.60	1.64	0.96	38.17	16.0	360
5 E-2314	2.80	1.98	0.82	33.30	10.0 *	360

減炭量の平均=0.87%

* 鑄巢ありしため少しく小なる値となつたもので實際は尙ほ優良なものである。

此の実験にては第 1 段黒鉛化温度は前回の場合よりも少しく高くなつたため、焼鈍時間を短縮せるものであるが、脱炭は良く行はれたものである。かかる脱炭作用をも併せて焼鈍せんとする時は第 1 段黒鉛化温度は高き方有利である。然し此の温度も餘りに高くなると伸度を害する虞がある故その間に適當の温度ある筈である。而して 2 回使用せられたヘマタイト粉は白鉄鑄物の脱炭作用を行はしめると同時に、他方自らは還元して 63.87% の純鐵が得られた。

実験 4. 装入量、製品及び試験片合計 144,248 g

 爐の操作法、第 1 段黒鉛化時間 920°~950° にて 31 時間

 第 2 段黒鉛化時間 680°~700° にて 49 時間

 脱炭剤の量、マグネタイト砂鐵 8,000 g

焼鈍後の試験結果は下表の如し。

試料番號	炭素量			牽引試験		屈曲試験 屈曲角度
	焼鈍前	焼鈍後	減炭量	抗張力	伸度	
5 E-2530	2.53%	1.91%	0.67%	36.52 kg/mm ²	14.0%	360°
5 E-2540	2.60	1.84	0.76	35.27	16.0	210
6 E-2313	2.60	1.90	0.70	38.00	12.50	230
6 E-2314	2.80	2.22	0.58	33.00	10.0	360

減炭量の平均=0.68

脱炭剤としてマグネタイトを使用した時もその抗張力及び伸度は増加するものである。此の外數回の實驗を繰返した結果も凡て良好である。

VII 燒鈍中に於ける脱炭が第2段黑鉛化作用に及ぼす影響

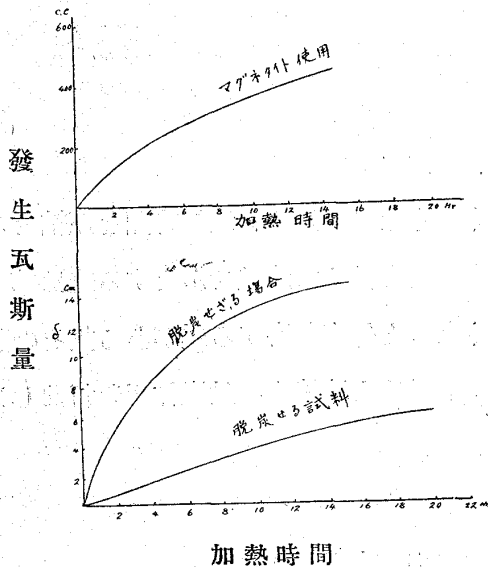
前述の如く白鉄の脱炭は主として第1段黑鉛化の際生ずるものであるから、第2段黑鉛化が始まる時は黑鉛化の核となるべき燒鈍炭素の量少いものとなる。故にこの第2段黑鉛化作用は當然不活潑となると想像せらる。果して然りとすればその影響は幾干程度のものなるか研究して見た。

(1) 次の化學成分の試料に付き脱炭を行ひしものと脱炭を行はぬものについて實驗した。

試料番號	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
8 E-2573	2.89	1.07	0.30	0.066	0.140

此試料に對し第1段黑鉛化終了後一度常溫まで冷却し再び加熱し 710° にて第2段黑鉛化を行はしめた。此時の時間及黑鉛化の關係を表はすと第13圖上方曲線の如くなる。此曲線より第2段黑鉛化

(上)第12圖(下)第13圖



完了時間は約 15 時間なることが知らる。第1段黑鉛化完了の時間は圖示は略してあるが 925° に於て約 6 時間にて完了して居る。第12圖は前節にて掲げた様な脱炭實驗装置を用ひ脱炭劑としてマグネタイトを使用した場合の時間對脱炭量の曲線で此曲線の最終點の發生瓦斯量より計算した脱炭量は 0.825%、又實驗前後の重量より計算した脱炭量は 0.78% である。如斯脱炭せしめた試料を次ぎに熱膨脹測定装置に入れ 710° にて第2段黑鉛化をさせた結果を示せば第13圖下方曲線の如くなる。これより脱炭を行つた試料の第2段黑鉛化完了の時間は約 20 時間位なることが知られる。即ち脱炭を目的とせ

ぬ場合に比し約 5 時間だけ長くかゝることゝなる。而して第13圖の2つの曲線を對比して見ると脱炭を行ひたる方は第2段黑鉛化による延びの量に於て脱炭を施さぬ場合に比し、その半分にも達して居らぬ。これ脱炭のため試料の周圍の比較的大きな部分にはパーライト組織のセメントタイトの量少く従つて第2段黑鉛化による膨脹が小となりしものである。

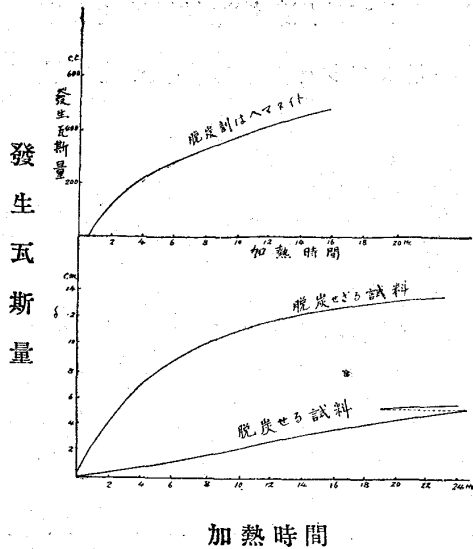
(2) 次ぎに脱炭劑としてヘマタイト粉を使用した時の結果を擧ぐれば、

此處に使用した試料の化學成分は次の如し。

試料番號	C (%)	Si (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)
5 E-2645	2.74	1.26	0.44	0.056	0.166

此試料はその第1段黑鉛化終了時間 925° にて 4 時間を要したが、第2段黑鉛化は約 23 時間 20 分を要して居る。若し試料重量の 6% のヘマタイト粉にて脱炭を行ひし後第2段黑鉛化を行へば、約 30 時間を要することゝなる。即ち脱炭により此第2段黑鉛化は約 22.2% だけ延長せしめられたことゝなる。此際の脱炭量は發生瓦斯量より計算したものが 0.89% となり、重量の減量より計算せられ

(上)第14圖(下)第15圖



たものは 0.725 % となつて居る。此試験の結果を曲線に示して見ると第 14 圖及び第 15 圖の如くなる。前者は脱炭量と時間との關係を表はし後者は第 2 段黒鉛化作用と時間との關係を示して居る。

以上の如く脱炭後の第 2 段黒鉛化完了時間はこれを脱炭せしめぬ時に比し 20 % 乃至 25 % だけ延長させることが必要となる。但し脱炭を行ひてこれだけの時間の延長をなさぬ時でも極く僅かのパーライト組織を周縁に残すのみにて完全に黒鉛化せしめた時に比し幾分抗張力を増し、多少の延伸度を害するものであるが使用上大なる支障を來すものでない。然し理想的の黒心可鍛鑄鐵を求

めんとするには此の第 2 段黒鉛化の時間を 20 % 位延長すべきものと思ふ。かくして抗張力に於ても延伸度に於ても充分なる價のものが得られ不時の衝撃に對抗して充分に堪へ得るものが出来るのである。

VIII 燒鈍作業用充填物質の熱傳導

従來の可鍛鑄物製造工業に於ては此の充填物質は白鉄の燒鈍には必要缺くべからざるものと考へられ、これについては種々研究せられたものである。然るに白鉄の黒鉛化現象の詳細の研究が出来てからは此の充填物質を省略するも何等不都合を生ぜぬ様になり。加ふるに、上述來の酸化物質の脱炭作用が明かとなつてからは充填物質の効能の大半は僅か装入鑄物の重量の 5% 位で充分にその効能を發揮せしむる様になつたのである。元來此の充填物質は可鍛鑄物の元祖である佛蘭西のレオミュール氏が白心可鍛鑄鐵の發明にヘマタイト粉を使用してより、傳統的にこれを確守して來たもので、勿論、白心可鍛鑄物製造には缺くべからざるものであるが、米國のセース・ポイデン氏により改良せられた黒心可鍛鑄鐵の製造には今や不用になりつゝあるのである。此の充填物質の主要の役目は白心可鍛鑄鐵は別として黒心の方にては遊離セメントイトを全部黒鉛化せしめた後その爐中に於ける自然冷却に於てその冷却速度を出来る限り緩かにしその冷却の途中に於てパーリチック、セメントイトの黒鉛化即ち第 2 段黒鉛化を行はしむるにあるので、高温度の燒鈍中に於て起る歪等は第 2 の問題であつたのである。充填物質を使用するために徒らに操業時間を長からしめ、燃料の消費量、ポットの消耗等を増し、作業上の不潔等種々の不都合が生ずるのである。此等の不都合は何に基因するかと云ふに一に充填物質は熱に對し不良導體であると云ふことに歸着するのである。然らばその熱傳導率は如何なる價をとるものなるかを知ることは極めて面白い事であると思ふ。充填物質として使用されて居るものは上述のヘマタイト鑛石粉や、マグネタイト砂鐵等によることは稀であつて、多くはローリングミルのス

ケールやポットの酸化したスケール等であり、これ等酸化鐵に普通の河砂を混じ使つてゐるのが多いので、處に依ると河砂のみを用ふる場合も少くないのである。又時としては反射爐や鎔鑪より出るスラッグを利用する所もある。故に此處には普通最も多く使用せらるゝスケール及び砂につきて述べることにする。

物體の熱傳導の一般の式は、

$$\frac{\partial v}{\partial t} = k \left\{ \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right\}$$

式中 v ……温度 k ……温度傳導率 (Diffusivity) r, θ, z ……圓柱座標

また K ……熱傳導率 c ……比熱 ρ ……比重とすれば

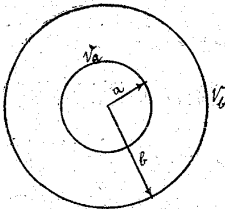
$$k = K \frac{1}{c\rho} \quad \text{にて表はさる。}$$

今熱源より熱が流れて定常状態に達した時を考へ、且つ測定に使用さるべき圓柱は直径に比して可なり長きものとすれば上式は簡單になつて

$$\frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} = 0$$

となる、これを解くと

第 16 圖



$$v = \frac{1}{\log \frac{b}{a}} (v_a \log \frac{r}{a} + v_b \log \frac{r}{b})$$

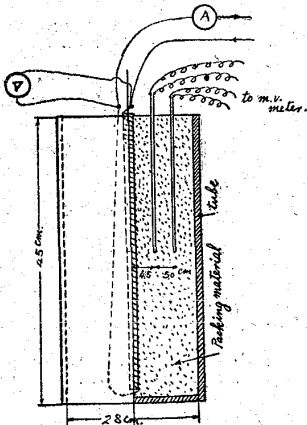
となる、但し a 及び b は圓心より各圓筒への半径、 v_a 及び v_b は半径 a 及び b の處の温度、一方に於て單位の長さを過る熱流を f とすれば、

$$f = -2\pi r K \frac{\partial v}{\partial r} = 2\pi K \frac{v_a - v_b}{\log \frac{b}{a}}$$

今第 17 圖の如くある熱に對し不良導體なる物質を盛れる圓柱の中心部に

細き磁製管に巻いたコイルを挿入し、これに電流を通ずるときは、此の磁製管の周圍には電流によるオーミックロスによる熱が発生する。而して此の熱は外方に向つて流出して行く。即ち射出狀の熱流が生ずるのである。

第 17 圖



に細き磁製管に巻いたコイルを挿入し、これに電流を通ずるときは、此の磁製管の周圍には電流によるオーミックロスによる熱が発生する。而して此の熱は外方に向つて流出して行く。即ち射出狀の熱流が生ずるのである。 e をコイルの兩端にかゝる電壓とし、コイルに流るゝ電流を i とし、 l をコイルの長さとするれば、

$$f = C \frac{ei}{l} \quad \text{となる。} \quad C \text{ は或る常數である、前式と結合して}$$

$$\frac{0.24ei}{l} = 2\pi K \frac{v_a - v_b}{\log \frac{b}{a}}$$

此實驗にては $l = 43 \text{ cm}$ $a = 4.5 \text{ cm}$ $b = 9.5 \text{ cm}$

$$\text{故に} \quad K = 0.0006635 \frac{ei}{v_a - v_b}$$

此式は定常状態に於けるものであるから實驗は通電數時間後一定の状態に達した時より初むべきものである。

(1) 酸化鐵(スケール)の熱傳導率

第 17 圖の如き細長き鐵の圓筒の中に酸化鐵粉を入れたもので、その粒の間には空氣の間隙が幾分あるものと考へなければならぬ。測定の結果

溫度	256°	347°	365°	372°	375°	400°	485°
K	0.000653	0.000607	0.000633	0.000636	0.000687	0.000686	0.000814 cal/deg/cm ³

初めの 6 つの價の平均をとれば、 $K_m = 0.0006603 \text{ cal/deg/cm}^3$

溫度高くなれば、此の熱傳導率は幾分増すは一般不良導體の性質である。

(2) 河砂の熱傳導率

良く乾いた砂につき測定して見ると次の如くなる。

溫度	289°	327°	403°	419°	454°	465°	496°
K	0.000815	0.000790	0.000777	0.000840	0.000852	0.000893	0.000892 cal/deg/cm ³

初めの 5 つの價の平均をとれば、 $K_m = 0.0008148 \text{ cal/deg/cm}^3$

但し此處に表示した溫度は v_a 及び v_b の平均値を採つたものである。此の結果より見ると河砂の方は酸化鐵よりも熱傳導は僅かに良好である。故に普通使用せられて居る充填物質の熱傳導率は此等の中間に位するものと見て支障ない。

白鉄の熱傳導率は鐵鋼に比し不良にして約 $0.05 \text{ cal/deg/cm}^3$ 内外である。此の白鉄に比しても砂又は酸化鐵は熱に對し極めて不良なる熱傳導率を有するものである、溫度の傳導には此の熱傳導率の外にその物質の比熱及比重を知ること必要であるが、此等の價はその粒の大小により價を異にし判然とした價がない故、著者は實際の現場に於て充填物質を用ゐた時と用ゐぬ時とについて實測を行ふた。今直徑 60 cm の燒鈍ポットの側壁に 2.5 mm 位の穴を穿ちこれより熱電對を挿入し内部の溫度を測定し得べからしめ、これに白鉄鑄物を砂及び酸化鐵の混合の充填物と共に裝入した場合と、充填物を少しも使用せずして白鉄鑄物のみを裝入した場合とについて溫度の傳はり工合を測つて見た。これによると充填物を使用した時は、ポット外即ち爐の溫度が規定の 900°C 位に達したる時より中心部も此の溫度に達するまで約 30 時間かゝつたが、充填物質を使用せぬ時は此のポット外と中心部の溫度上昇の遅れは 4 時間位に過ぎない、故に白鉄の燒鈍に關する理論が判然とした上は、かゝる充填物質を使用することなしに燒鈍を行ふを良しと考へらるゝは明白の事である。唯充填物を使用せぬときは酸化鐵の如きものを充したときに比し脫炭が少く充分な抗張力を得られまいと云ふ懸念は多少あるが、かゝる場合には前述の理論より裝入白鉄鑄物の約 5% 位の酸化鐵を使用すれば所期の目的は達せられ、而も充填物を使用せぬ時と全く同じ時間でこれを實施することが出来るのである。

以上の研究結果を總括すれば、

- (1) 可鍛鑄鐵工業に於ける自鉄鑄物燒鈍中に於ける、酸化鐵粉による脫炭の機構を明かにした。
- (2) 充填物質を使用せずして、種々の高溫にて白鉄鑄物を加熱しその溫度に於て起る脫炭量を測定した。これに依れば白鉄の脫炭に對しては 6~7 時間以上に於ては溫度は餘り關係なきことが確か

められた。

(3) 一定の溫度に於て白鉄鑄物を燒鈍する時に起る脱炭に對し、酸化鐵粉の量の影響を測定し、白鉄鑄物の重量の約 4% の酸化鐵粉にて脱炭の目的を充分達する事を確かめた。

(4) 適量の酸化鐵粉を使用し、種々の溫度に白鉄鑄物を保持した時の脱炭量を測定した、此場合には(2)の場合と異り溫度に依り脱炭は非常なる影響を受け、溫度高き程脱炭は對數曲線的に増進することが明かとなつた。

(5) 白鉄鑄物の燒鈍中に於て種々の酸化劑を酸化鐵粉に加へた時の脱炭に對する影響を試験したが、著しく良好なる酸化劑を見出すに至らなかつた。

(6) 以上の理論を實地燒鈍作業に利用し、脱炭せしめたる時と、脱炭せしめぬ時の材質の比較試験を行ふた。これに依れば裝入白鉄鑄物の約 5% の酸化鐵粉を使用したのみにて抗張力及延伸率に於て 10% 以上の良結果を得らるゝことが知られた。

(7) 充填物質の熱傳導率を測定し、その結果より經濟的燒鈍法を説明した。

終りに此研究結果の公表を許可せられた戸畑鑄物株式會社に對し深謝する。