

# 鋼の乾濕水素に依る脱炭

(日本鐵鋼協會第 24 回講演大會講演 昭 15. 10)

持田 徳彦\*

## ON DECARBURIZATION OF STEEL BY DRY AND WET HYDROGEN

Tokuhiko Mochida

**SYNOPSIS:**—The author carried out the decarburization of Swedish steel by dry and wet hydrogen current at high temperatures and observed decarburization from their microscopic structures.

Steels were decarburized by dry and wet hydrogen current (dry hydrogen and hydrogen containing water vapor) at temperatures above and below the  $A_3$ -transition point of iron-carbon system equilibrium diagram and studied the effect of the presence of water vapor in hydrogen upon decarburization.

The decarburized structures obtained by using wet hydrogen (hydrogen containing water vapor) at temperatures below the  $A_3$ -transition point developed a columnar ferrite band with a very clear boundary, while the structures obtained by decarburizing with dry hydrogen did not develop such ferrite band.

The author considered the reason for the formation of such ferrite band and its mechanism by applying the iron-carbon system diagram and made clear the relation between the appearance or not of ferrite band on decarburizing with dry or wet hydrogen.

### I. 緒 言

鋼の水素に依る脱炭の研究は古くから多くの研究者に依り實驗されて居る。殊にアンモニア合成、高壓水素添加反應等に於て使用材料の鋼が高温高壓の下で水素に依り脱炭され、材料の強度が弱化する事は重大な問題である。又最近  $Ni-Cr$  鋼に於て重大視されて居る白點もその原因として水素説が有力である事から見て脱炭の問題も考慮の中に入つて来る。更に焼鈍その他の熱處理に際し爐内雰囲気依りダイス、工具類、刃物類、齒車等の表面に脱炭を起し、表面軟化を來して性能を害し、使用期間を短縮する結果となる。

鋼の脱炭に関しては J. E. Stead<sup>1)</sup>, C. R. Austin<sup>2)</sup>,<sup>3)</sup>, Johansson 及 R. Von Seth<sup>4)</sup>, D. H. Rowland 及 C. Uptgrove<sup>5)</sup>, 内藤逸策<sup>6)7)</sup> の諸氏の研究がある。

而して水素及水蒸氣含有水素に依る脱炭の研究に於て問題となるのは試料表面より内部へ進行して行く脱炭の機構でありこれと關聯して脱炭の結果試料周圍に環状の地鐵層を形成する事及此の環状地鐵層の結晶粒が柱状を呈し且つ中心部との境界が明瞭な事等である。

鋼の脱炭機構に就ても

1. ガスが鋼中に侵入し炭素と反應して脱炭とするガスの内部侵入説。

2. 炭素が鋼中を内部より擴散し來り表面に於てガスと反應して脱炭とする炭素擴散説。  
の 2 説があり、種々論議されて居る。

Austin<sup>2)</sup> は水素中の水蒸氣量が鋼の脱炭に及ぼす影響に就て研究し、水素中の水蒸氣量と脱炭深度との關係を求めた。

Rowland 及 Uptgrove<sup>5)</sup> は鋼の表面脱炭に及ぼす結晶粒の大きさの影響に就て研究し、結晶粒大なるものは小なるものより脱炭し易い事を實驗した。又脱炭の際に柱状結晶の生成が  $\gamma$  相から  $\alpha$  相への變化の際に出来る事を實驗して居る。

柱状結晶に就き Kelley は鐵中に他の金屬が擴散する場合即ち Calorizing, Chromizing の際にも柱状結晶が出来ると述べて居る。

内藤氏<sup>6)</sup> は鋼の脱炭機構を炭素擴散説に依り説明し併せて炭素擴散係數に就き計算して居る。

以上の如く鋼の水素に依る脱炭は重要なものであつて多くの文獻があるが、鋼の水素に依る脱炭と鋼中の第三元素の影響、使用する水素の乾燥度及びこの脱炭現象に對する状態圖的な關係等に就ては未だ全く研究せられて居らないので、これらの點を明かにする爲に本研究に着手した。本報はその第 1 報である。

この種の現象に於ては試料に就てはその (a) 炭素量, (b) 純度 (第三元素の影響) (c) 結晶粒の大きさ等が影響するのであるが本研究では (a) 即ち炭素量のみを 0.4, 0.9, 1.3

\* 東北帝國大學金屬材料研究所

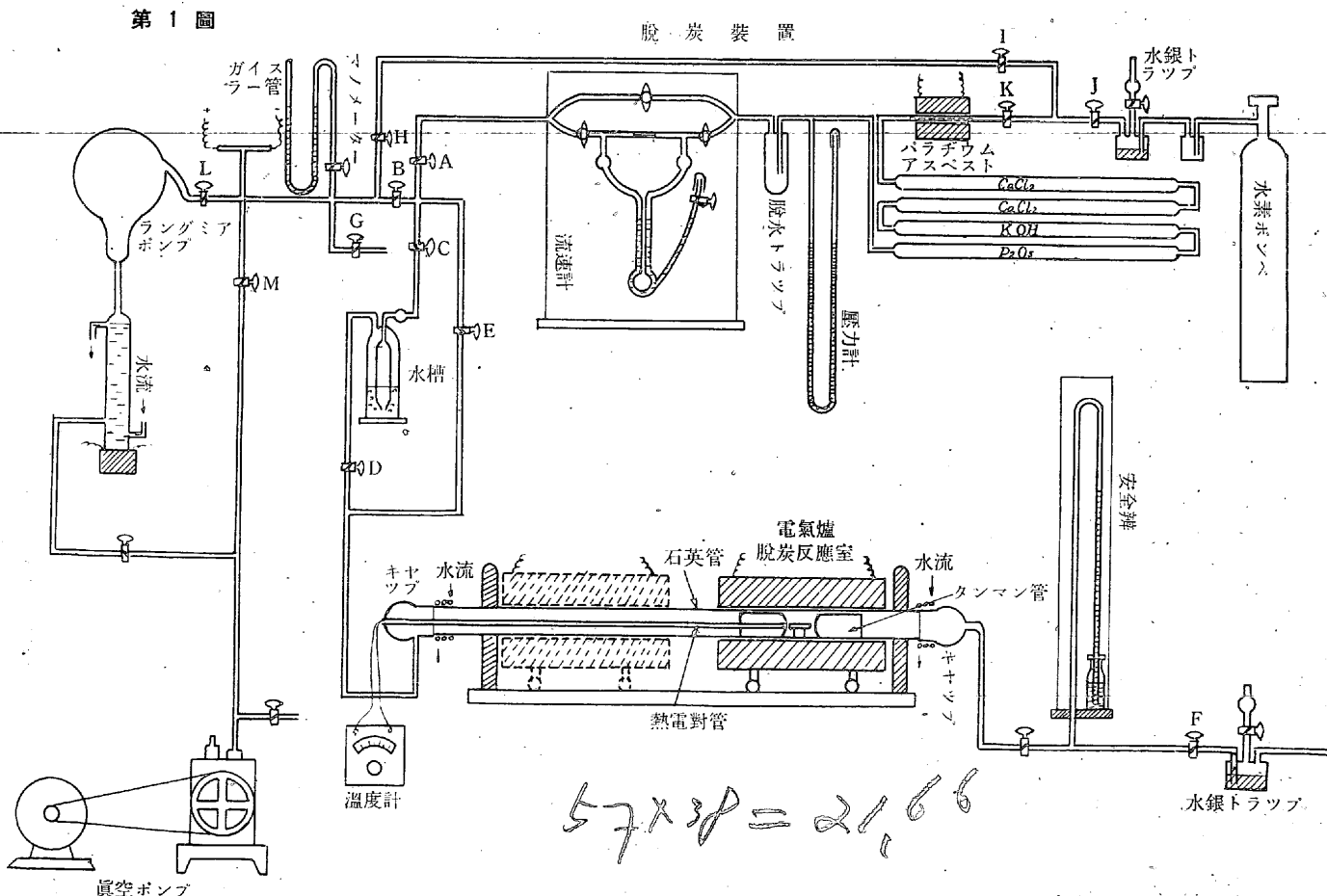
%の3種に變化し他は出来るだけ一定に保った。

又ガスに就ては水素の純度(即ち $CH_4$ 等の有無),水素中の水蒸氣の量(或は酸素量)の他に水素の壓力及び分量(即ち水素流速)が關係する。本研究では水素の分量及び含水量を種々に變へ他は出来るだけ一定にすることとした。

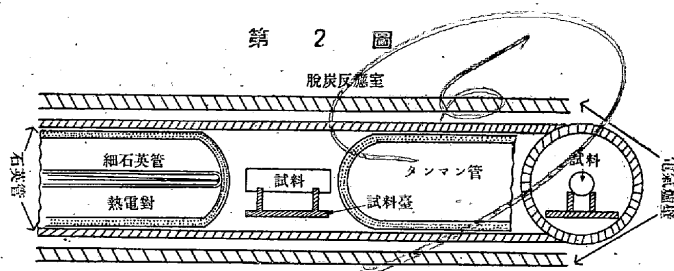
實驗方法としては動的な水素即ち水素氣流に依る脱炭を行ふことにした。而して實驗溫度としては狀態圖に従て $700 \sim 1,000^\circ C$ を選んだ。尙實驗に當ては次の事柄に特に留意した。(1)精確な流速計。(2)水素は純粹且充分乾燥する事。(3)電氣爐の溫度分布を良くし且つ水素が所定溫度に到達して後に反應室に入る事。(4)反應室内で水素氣流が對流及び沈滯等を起す事無く試料表面を均一にガスが流れる様にする。従て試料と支持臺との接觸面を少なくせねばならぬ。(5)試料の形狀を一定とし實驗前後に試料重量を秤り脱炭量を知る事、之は脱炭量少なき時は顯微鏡に依る判定困難故、判定の一助となる。(6)空氣の混入に依り爆發の危險ある事。

## II. 實驗装置

第1圖は全實驗装置でその主要部分脱炭反應室を第2圖に示す。



第2圖



**水素ガス** 圖に示す如くポンペより出た水素は水銀トラップを経てパラジウムアスベストにて酸素を除去せられ $CaCl_2$ ,  $KOH$ ,  $P_2O_5$ 等の乾燥劑に依り乾燥せられる。次に脱水トラップにて液體窒素に依り極微量の水分も除去せられる。而して水素量は流速計に依り測られる。乾燥水素の場合は其儘脱炭反應室に送られ、水蒸氣含有水素の場合には水素ガスを水槽(恒溫槽内に置き、溫度 $20^\circ C$ )に通じて水蒸氣を飽和後脱炭反應室に送られる。

**脱炭反應室** 此の部分は脱炭反應を行はせる反應室と加熱用電氣爐より成る。反應室は内徑 $35\text{mm}$ 、長さ $1\text{m}$ の石英管の中央部に在り、第2圖である。石英管の兩端をスリ合せにして硝子製キャップを取付る。左側は固定し右側は取はずし自由とする。管内の中央には左端から熱電對用の細い石英管が伸び、その先端は左側タンマン管の底に接して居る。次に石英試料臺を置きそれに接して右側タンマン

管を置く。加熱用電気爐は第1圖に於ける實線及び點線の位置にレールを動かして位置する。

試料臺は第2圖に示す如く試料(直徑8mm, 長さ30mmの丸棒。表面〇〇〇番研磨仕上)を管内の中心に保持し、臺との接觸面は極めて僅かで試料の周圍を自由にガスが流れる如くした。又タンマン管を試料の前後に置く理由は水素がタンマン管と石英管壁との僅かな間隙を通過する時に充分に加熱され所定温度近くなる爲である。而して反應室に入れた水素ガスは試料に接觸し反應する。然る後にタンマン管と石英管壁の細隙を通して室外に出る。著者は始めタンマン管を使用せずに單に長い管中に試料(臺上)を置いて水素を送り脱炭した處、試料の上部(臺上に置く)のみ多く脱炭されるのに反し下部は少なかった。之は水素ガスの如き軽いガスは管内の上層のみを流れ下層は沈滞して居るに起因するものと考へた。依てタンマン管を試料の前後に置き水素ガスを送た處、試料全周に互り均一な脱炭が起り目的は達せられた。

**實驗操作** 最初に水素ガス乾燥部分に水素を容れる。コック A, J, B を閉ぢ I, H を開き排氣すれば壓力計は眞空度を示す。次に K を閉ぢ J を極く僅かに開き水素ポンベよりガスを送りつゝポンベと J 間の空氣を迫出し、I を閉ぢ K を少しづつ開くと水素は乾燥部分に滿される。此際水銀トラップの泡立に依り水素の出方が判る。壓力計が大氣壓を示すに至れば水素送りを止める。然る後 J を閉ぢ I を開き水素を排氣する。次に I を閉ぢ J を開いて水素を再び送る。斯様にして乾燥部の空氣を排除し水素にて數回洗滌して後、大氣壓の水素を滿たして置く。

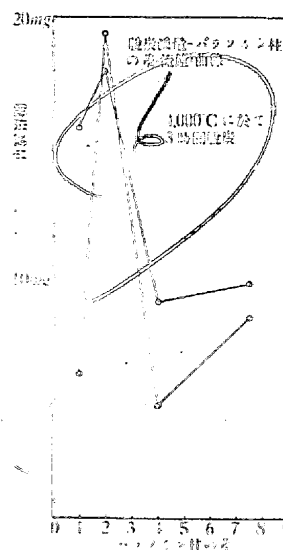
次は脱炭反應室の部分である。石英管右端のキャップをはづし、右側タンマン管を引出す。石英試料臺に試料を載せ之を靜かに棒にて押し管内を滑らせて定位置に位置せしめる。然る後右側タンマン管を差込みキャップを嵌入する。コック A, C, D, F は豫め閉ぢて置く、E, B を開き眞空に引き空氣を排氣する。然る時は安全弁の水銀柱は眞空程度を示す。眞空に達したならば B を閉ぢ A を開くと共にポンベより水素を送れば安全弁の水銀柱は降下し水素壓を示す。大氣壓近くとなつて F を開けば水素は水銀トラップを経て出て行く。水素の流速は流速計が所定流速を示す様にポンベの弁を加減する。而して水素壓は大氣壓より 4~6mm 高くして置く。電気爐は第1圖の點線の位置に於て實驗温度に加熱して置く。然る後レール上を滑らせて實線の位置に持來れば十數分後には試料は實驗温度に達する。1,000°C

に達するに約 15 分を要す。それ故實驗時間に 15 分を加算する。所定の實驗時間加熱した後、電気爐を點線の位置に戻し、水素ガス送りを止め、コック A, F を閉ぢ水素ガスを充した儘冷却する。試料冷却後に B を開き水素を排氣し然る後 G を開きて空氣或は窒素を導入し大氣壓となれば右側キャップを脱して試料を取出す。安全弁は管内のガスの壓力を示すと共に一定壓以上となれば自動的に逸出し、危險を防止する。

次に水蒸氣含有水素の場合の實驗操作は殆ど同じであるがコック E を閉ぢ C, F を開きて水素を水槽中に通し、水蒸氣を飽和させて反應室に送る。此の場合 C, D 間の空氣は豫め水素にて置換して置く。

**試料** 前にも述べた如く直徑 8mm, 長さ 30mm に仕上たスウェーデン鋼で炭素含有量は 0.4%, 0.9%, 1.3% の 3 種である。實驗前に秤量して試料重量を求めて置き、實驗後に再び秤量して實驗前後の差を求めて試料減量とする。試料減量とは脱炭反應に依る試料の重量減少即ち鋼中の炭素が高温に於てガスと反應して化合物となり、之がガス流に依て除去される事に依り生ずる重量減少である。換言すれば炭素減量である。斯様に試料重量の減少を炭素減量とすれば顯微鏡組織に依ては判らぬ程度の脱炭も知る事が出来る。試料の形狀、重量は殆ど一定にして相互の比較を便にした。尙水分を含む水素によつて脱炭する場合には試料は脱炭せられてその重量が減ると共に酸素を攝取して其の重量が増す。秤量すればこの増減量の代數和が求められる、茲ではこの和を簡單の爲に脱炭に比例するものと見做して

第 3 圖 有る。



### 豫備實驗

實驗に先だち使用する水素流の適當な速さを求めて置かねばならぬ。依て水素流速(單位時間の水素量)と脱炭減量との關係を 1,000°C に於て 0.4% 及 0.9% の 2 種の試料を 3 時間乾燥水素に依り脱炭して求めた。結果を第 3 圖に示す。縦軸に脱炭に依る試料減量、横軸に水素流速を表はす流速計の流動パラフィン柱の左右の差を採た。實驗に依れば左右兩柱の差が 20 mm となつた時に最大の脱炭量を示し、之に依り流速が

速くても遅くても脱炭量が減少する事が判た。而してパラフィン柱 20mm の差は豫め求めて置くガス量-パラフィン柱の差なる曲線から 1 分間に 30.5cc. (大気壓) なるガス量が判る。

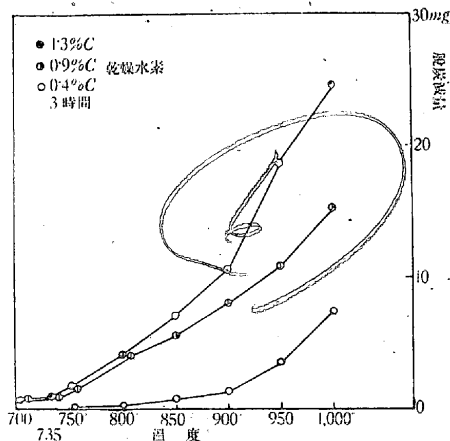
依て使用す可き水素ガス流速は 1 分間に 30.5cc と定め、之に依り実験を行った。但し此のガス量は本実験装置固有の値で、装置の形状寸法が變れば亦變る値である。

### III. 實驗結果

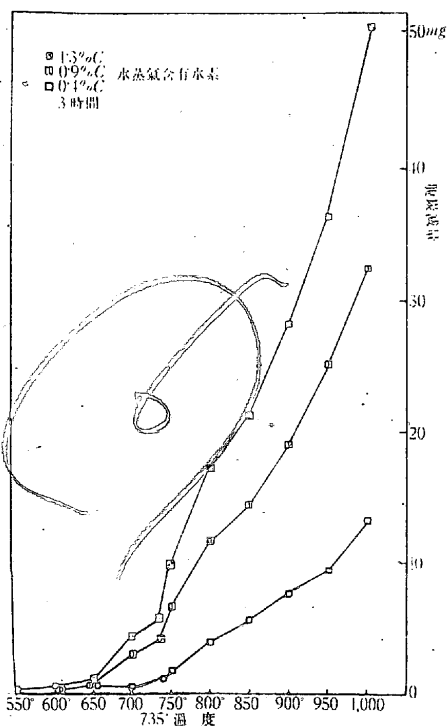
1) 乾燥水素に依る脱炭 最初に乾燥水素に依り脱炭を試みた。此處に乾燥水素と稱するのは  $CaCl_2$ ,  $P_2O_5$  等の乾燥剤に依り乾燥せるものである。

試料は前に述べた如く 0.4%, 0.9%, 1.3% C の 3 種類である。實驗條件は次の如くである。實驗時間を 3 時間 15 分

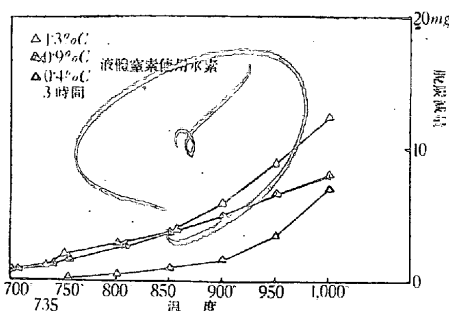
第 4 圖



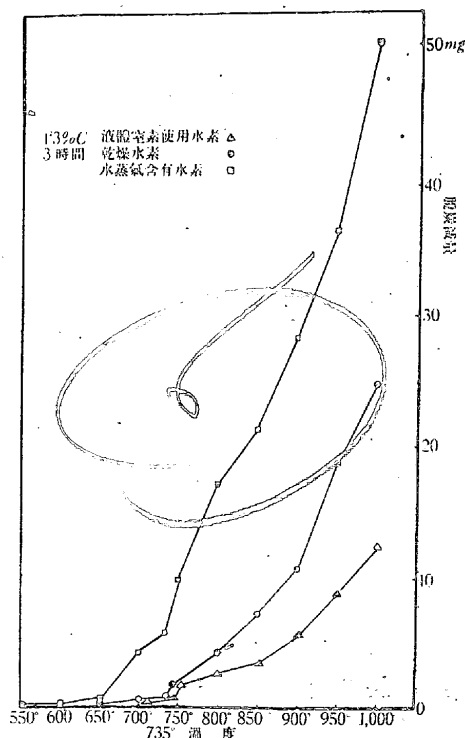
第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖



とし、水素ガスを毎分 30 cc を通し、温度は 700, 735°C  $A_1$  變化の影響を見る爲、750°C、之より 50°C 毎に採り 1,000°C に互り實驗した。結果は第 4 圖に示す如くである。圖に見るが如く試料の炭素含有量の高低に脱炭減量の大小が相應して居る。而して温度の上昇に伴て 3 種の試料間の開

きが大きくなって居る。0.9%, 1.3% C の両者は 800°C に於て殆ど平衡し 750, 735°C 附近では殆ど一致して居り  $A_1$  の影響は見られなかつた。0.4% C は 750°C 附近では殆ど脱炭せぬ程度である。猶脱炭後の試料表面は美しき金屬光澤を呈して居る。

2) 水蒸氣含有水素に依る脱炭 實驗條件は乾燥水素に依る場合と同一である。水蒸氣含有水素に依る脱炭の結果を第 5 圖に示す。此の場合は 0.9%, 1.3% の試料には 735°C の點に於て脱炭曲線に折れが認められる。650°C 附近では 3 試料とも脱炭量に大差が無い。0.4% 試料には前 2 試料の様な 735°C 邊の折れは輕微である。水蒸氣含有水素に依る脱炭の場合も乾燥水素の場合と同様に試料炭素量の高低に脱炭量の大小が相應して居る。然し脱炭量を同一炭素含有量に就て比較すれば乾燥水素の場合に比して數倍大きくなって居る。脱炭後の試料表面は金屬面に僅かな曇りを生ずる程度であつた。(酸化物が表面に附着して居ないとは云へぬが、あるにしても非常な薄層と考へらる。依て試料減量は此の酸化物の補正をする事なく其儘脱炭量とした)。

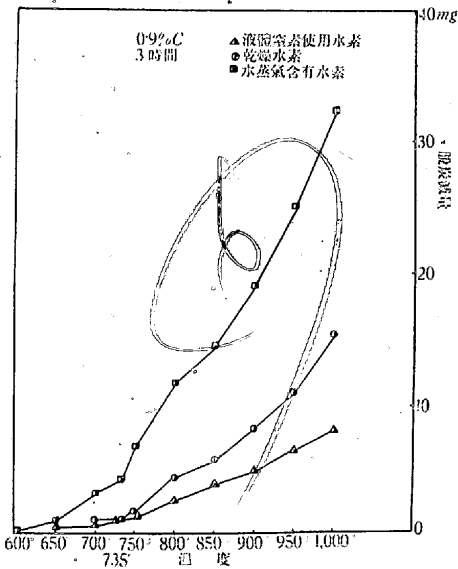
3) 液體窒素使用の乾燥水素に依る脱炭 此の場合の實驗條件も前 2 者と全く同様である。乾燥剤の最後に液體窒素を用ひて微量の水分も除去した。結果は第 6 圖に示す。乾燥水素に依る脱炭(1の場合)と同様な傾向である。850°C に於て 0.9% 及び 1.3% の両者が殆ど合し温度の下るに連れ同様な経過を示して居り、 $A_1$  附近の變化は見受けられぬ。然し 1) の場合よ

りも脱炭量が少なくなつて居る。0.4%試料は1)の場合と殆ど一致して居る。試料表面は金屬光澤を呈して居る。(此處に注意すべきは液體窒素トラップを流速計の前に置いた爲に温度の下つたガス、換言すれば密度の高いガスが流速計に入る事となり、爐に入て膨脹する故、所定の30ccより幾分多量の水素を送た事になる)。

4) 乾燥水素及び水蒸氣含有水素の比較 同一炭素含有量の試料に就て3種の乾燥程度の違ふ水素に依る實驗結果を比較して見る。

1.3% C 炭素含有量 1.3% の試料に就ての脱炭結果を纏めて第7圖に示す。脱炭量の順序は圖より判る如く水蒸氣含有水素に依る脱炭量が最も大きく、乾燥水素、液體窒素使用乾燥水素の順となつて居る。各曲線の形狀は大體に

第 8 圖

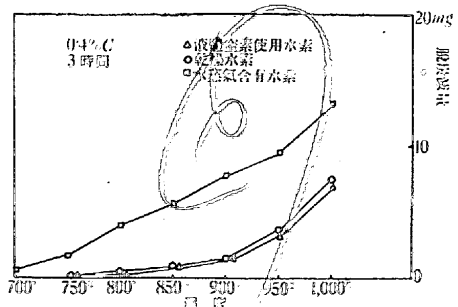


於て似て居る。A<sub>1</sub> 變態の影響を見るに餘り顯著に現はれて居ない。

0.9% C 炭素含有量 0.9% の試料に就ての脱炭結果を纏めて第8圖に示す。脱炭量の順序は前述の1.3% C 試料と同く同一である。而して

曲線の形狀も1.3%の場合に似て居る。750°Cに於て兩乾燥水素の脱炭曲線は一致して居るも水蒸氣含有水素の脱炭曲線はこれらに比し此の温度に於て相當の脱炭量を持って居る。

第 9 圖



0.4% C 炭素含有量 0.4% の試料に就ての脱炭結果を纏めて第9圖に示す。脱炭量の順序は水蒸氣含有水素の曲線が上位で兩乾燥水素の曲線は殆ど一致して居り高温に於ても大差無い。此の程度の炭素含有量に於ては水蒸氣含有水素の脱炭量多きも乾燥水素の脱炭量は850°C

附近に於てさへも僅かである。乾燥水素及び液體窒素乾燥水素の兩曲線が一致して居る事から見て乾燥程度に相當な違ひが無ければ0.4%位の炭素量の試料には脱炭量に差を生じ難い事が判る。

以上の結果を綜合して見る。

乾燥程度即ち水素中の水蒸氣量が同一炭素含有量試料の脱炭に及ぼす影響は著しく大きい。水蒸氣含有水素に依る脱炭量が最大、次が乾燥水素、最後が液體窒素使用乾燥水素と云ふ順に脱炭量がなつて居る。

乾燥程度を一定とし、1.3%, 0.9%, 0.4% の3種の炭素含有量の試料に就ては炭素含有量の増加と共に脱炭量も増加する。

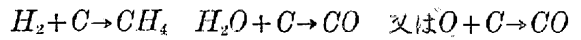
温度の上昇と共に全部脱炭量が増加する。

今上述の結果から見て次の事が考へられる。鋼に接觸する水蒸氣量が鋼の脱炭に著しい影響を與へる。殊に高炭素鋼は高温に於て微量の水蒸氣の存在に依り脱炭量の増加を來す。それ故鋼の脱炭防止には水素を充分に乾燥する事が必要である。然し充分に乾燥した水素に依るも高温に於ては脱炭を免かれ得ない。

#### IV. 脱炭現象及び其機構

實驗の結果得られた脱炭量は以上の如くであるが、各試料の脱炭組織は同様で無く、種々相を示して居り、脱炭進行の機構が脱炭温度、脱炭劑の脱炭力、鋼の炭素量、炭素の擴散力等によりて相違するものである事を示して居る。以下之について論じてみたい。

(1) 脱炭の化學反應 脱炭の化學反應としては



に依るのであつて、上式中の C は Fe<sub>3</sub>C 中の炭素又はオーステナイト又は地鉄中の炭素である。

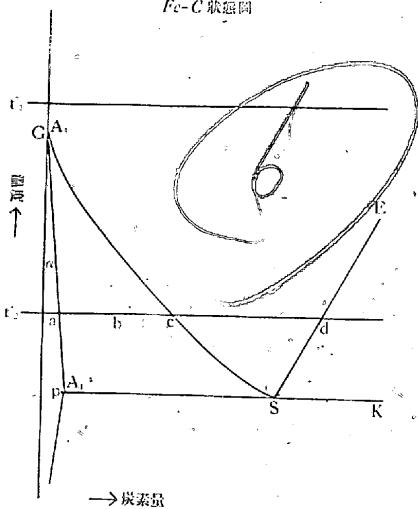
而して之等の脱炭反應は試料の表面に於て起るものであるから、表面の炭素量は此の爲に減少する。従て内部の炭素は外部に擴散してその炭素量を平均せんとする。それ故に表面に於ける脱炭反應の速度と内部より外部への炭素の擴散速度との大きさの差に依て組織は種々相となる。之を Fe-C 系平衡狀態圖、第10圖に依て説明しやう。

(2) 狀態圖と脱炭組織 圖の t<sub>1</sub>° 即ち A<sub>3</sub> 以上の温度で脱炭すれば如何なる場合にも t<sub>1</sub>° で安定なのは γ のみ

であるから水蒸氣水素の如く O<sub>2</sub> を含むものに於て酸化鐵を生ずる程脱炭が烈しいもので無くとへ O<sub>2</sub> が γ に溶けても新相を生じない範圍では脱炭作用は γ 相内での變化で

第 10 圖

Fe-C 状態圖



ある。脱炭力大、炭素擴散小ならば  $\gamma$  相それ自身が均一度悪く外部の炭素は少なくなり遂には酸素の溶けて居るものをも生じ、従て  $t_1$  で既に酸素や炭素の傾斜のある組織となつて居る。之を冷却すると炭素の異なる各層が  $Fe-O_2$ ,  $Fe-C$  の状態圖に従て變化を行

て常溫に達する。常溫組織も外部 Oxoferrite 次で炭素少なく内部炭素多い鋼が連続せるものとなる。炭素擴散大、脱炭力小ならば  $t_1$  で  $\gamma$  の炭素含有量差が内外共に少なくなつてくる。酸素の爲に  $FeO$  相を生ずる事なく酸素が單に  $\gamma$  に溶けて居る程度の酸化である限り  $t_1$  では  $\gamma$  相のみで他の相は無い。

$t_2$  の如き  $A_3$  以下の溫度で脱炭する場合に於ても  $c \sim d$  間の炭素量の鋼を脱炭する時には、脱炭力の方が炭素擴散より小ならば脱炭が進行しても  $\gamma$  の炭素量は  $c$  點以下になり難い（初めの炭素量が  $c$  に近いものは然らず）から、脱炭現象は  $A_3$  以上の  $t_1$  の時と似て来る。即ち外表面にも地鐵層を生じない。  $d$  以上の炭素量の鋼に就ても同様である。

もしも  $c \sim d$  間の鋼で脱炭力の方が大であると  $t_2$  でも外表の方は炭素が漸次減り遂にはその炭素量は  $c$  點となる。

然る時はその次の瞬間には  $c$  はそれ以上オーステナイトの状態で炭素を減らし得ないから  $c$  は  $\alpha$  の  $a$  になつて了ふ、即ち茲に不連続な脱炭相變化が起る。即ちこの  $\alpha$  と  $\gamma$  が共存しながら脱炭が進行する。脱炭の進行と共に  $c$  が減て  $a$  が増すが  $\gamma$  は  $c$  以下には下らぬ。その間にも絶えず  $\gamma$  の中では炭素が内部から擴散して來て  $c$  點の  $\gamma$  が  $c$  以上に炭素を増さんとする。それに対して  $c$  と共存する  $\alpha$  の  $a$  は脱炭に依り  $a$  を離れて  $a$  以下に炭素含有量が低くなるから、結局  $a$  より炭素の低い  $\alpha$  と  $\gamma$  の  $c$  或は  $c$  以上に炭素に富んだ  $\gamma$  とが接觸する事となり、その両者は平衡し得ないから反應して  $a$  及び  $c$  を生ぜんとする。従て  $\gamma$  の炭素擴散大ならば内部の炭素量は減るけれども  $a$  の層は増さない。  $\gamma$  の炭素擴散小ならば  $c$  が減り  $a$  が増して行く即ち地鐵層が増

して行く、即ち  $a$  と  $c$  との輪が相接してゐて  $\alpha$  の炭素擴散及び脱炭力  $> \gamma$  の炭素擴散ならば  $\alpha$  の接觸線が内部にづれ、  $\alpha$  の炭素擴散及び脱炭力  $> \gamma$  の炭素擴散なら外部にずれる。

これが  $t_2$  での脱炭の進行である。而して斯様な脱炭の進行に於て平衡するものは  $a$  と  $c$  とであつて  $c$  そのものは後常溫迄に  $A_3$ ,  $A_1$  をするにしても  $t_2$  では  $a+c$  の共存はあるも  $a \sim c$  の含有量に相當するものは何處にも生じて居ない。その爲組織は  $\alpha$  と  $\gamma$  とが明瞭な境界を持つ事となる。

$t_2$  で  $b$  の如き炭素量の鋼を脱炭する時には  $t_2$  でその鋼は  $a$  と  $c$  とより成る。此の場合も脱炭の進行と共に  $c$  は  $a$  となるから遂には最外層には  $a$  即ち地鐵の層を生ずることとなる。以上が脱炭機構の状態圖的説明である。夫故に恒溫に於て脱炭すれば脱炭現象は  $A_3$  變化の形で起り、  $\gamma \rightarrow \alpha$  は  $A_3$  變化の進行である。實驗の結果は之と全く一致する。

實驗例

1,000°C 乾燥水素 寫眞 A,B,C, に示す如く高溫に於ては炭素擴散大である故脱炭も早いに不拘、内外の炭素量が良く平均して居る。

1,000°C 水蒸氣含有水素 寫眞 D,E,F, に示す如く炭素擴散大であるが、脱炭が烈しく外部には 1,000°C の  $\gamma$  に酸素が溶けるので冷却せるものは最外層に Oxoferrite を生じ次で内外の炭素含有量の差が大である組織となる。然し 1,000°C ではオーステナイト相であるから連續的に脱炭して居る。

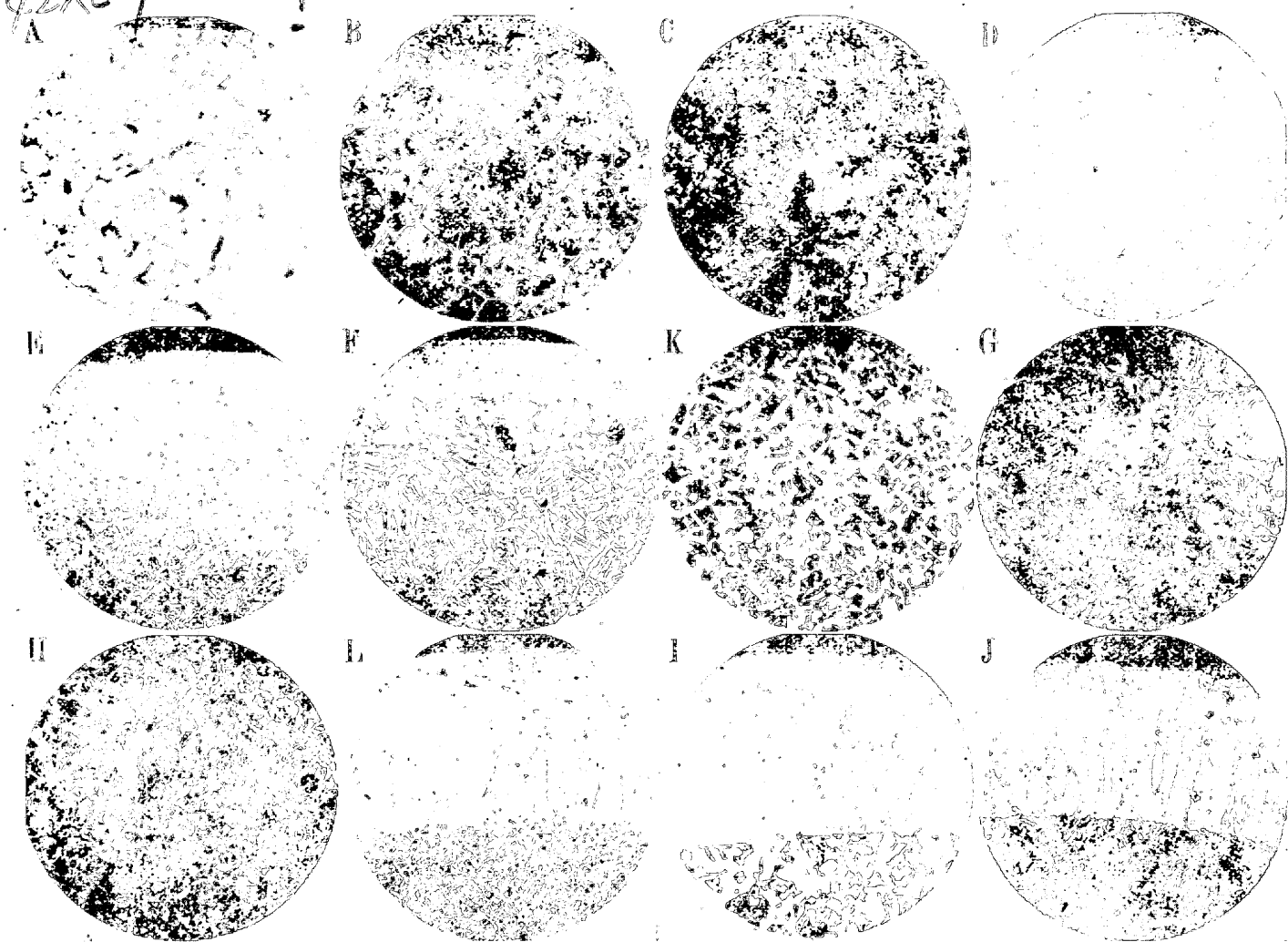
850°C 乾燥水素 この時には擴散も遅いが脱炭も遅いから、それで 0.9% C, 1.3% C の如く炭素の多いものでは寫眞 K,G,H に示す如く第 10 圖の  $c$  迄來ない。それで  $\gamma$  相だけで脱炭が進行する。0.4% では  $a+c$  となつて居るが脱炭が僅かしか進まぬ故地鐵層が認め難い。これは  $t_2$  で已に  $\alpha$  が存在する爲め地鐵がある筈なるも  $t_2$  が 800' では高過ぎ  $a, c$  の炭素量が又近過ぎた、より低い溫度なれば地鐵層ははつきりと見えたであらう。

800 及 850°C 水蒸氣含有水素 寫眞 L,J,I に示す如く、脱炭力が炭素擴散より大である爲明瞭に地鐵層を生じて居る。

V. 總括

1) 0.4, 0.9, 1.3% C の 3 種の炭素鋼につき  $A_3$  上下即ち 1,000°, 850° に於て乾燥水素及び水蒸氣含有水素に依り脱炭實驗を行ひ、脱炭量を測定し、同時に脱炭組織の種

寫眞 A~及び C G~L は各  $\times 42$ , D~F は各  $\times 30$ , 各 5% Nitrl 腐蝕



第 1 表 及び寫眞 A J 参照

第 1 表 (寫眞)

炭素量	0.4%		0.9%		1.3%	
	乾	濕	乾	濕	乾	濕
1,000°C	A	D	B	E	C	F
850°C			G	J	H	I
800°C	K	L				

「乾」は乾燥水素, 「濕」は水蒸気含有水素, 腐蝕液は 5% Nitrl  
 \* 相につき状態圖を基として, その脱炭機構を説明した。

2) (脱炭力) > ( $\gamma$  の炭素擴散力) ならば  $\gamma$  相状態で脱炭しても表面に炭素の少ない部分を生じ炭素含有量勾配がつく。水蒸気水素ならば酸素が溶けた地鉄が最外層に生ずる。

3) (脱炭力) < ( $\gamma$  の炭素擴散力) ならば  $\gamma$  相安定で脱炭しても炭素含有量勾配は少ない。

4) (脱炭力) < ( $\gamma$  の炭素擴散力) ならば  $A_3$  以下に於ても 3) と同様である。

5) (脱炭力) > ( $\gamma$  の炭素擴散力) ならば  $A_3$  以下に於ては脱炭に依り地鉄層を生ずる。この地鉄層は明瞭なる境界

を持って  $\gamma$  相と界する。  $\gamma$  相+地鉄の層は存在せぬ。(  $\alpha$ +パーライトの層は冷却に依り出来る。)

6) 以上は  $\alpha$  中の炭素擴散が  $\gamma$  中の夫より大であると云ふ文獻<sup>6)</sup> に著者も同意して論じたもので、之が小なるときには之以外に種々の場合を生ずるであらう。

文 獻

- 1) J. E. Stead, J. Iron & Steel Inst. (1898), 145.
- 2) C. R. Austin, J. Iron & Steel Inst. 1 (1922), 93.
- 3) C. R. Austin, Trans. Amer. Soc. Metals, 22(1934), 31.
- 4) Johansson & R. Von Seth, J. Iron & Steel Inst. 11. (1926), 295.
- 5) D. H. Rowland & C. Uptgrove, Trans. Amer. Soc. Metals, 24(1936), 96.
- 6) 内藤逸策, 鐵と鋼 22(昭, 11), 19.
- 7) 内藤逸策, 鐵と鋼 19(昭, 8), 950.  
20(昭, 9), 657.

本研究は東北帝國大學金属材料研究所に於て爲されたものである。而して修船御懇切な御指導を賜つた恩師東北帝大教授岩瀨三博士に深甚なる感謝を捧げる。又本實驗中熱心に助力せられた柳引達二郎君に深謝する。