

鐵

と

鋼

第八年第八號

大正十一年八月二十五日發行

健淬鋼の物理冶金的研究（承前）

松下徳次郎

第一編 鋼の健淬状態に關する研究

緒論

鋼の用途の廣汎なるは熱鍊に由りて著しく其性質を變化するに因る。熱鍊中最も主要なるは健淬作業にして又最も至難なる操作なり。健淬の理論に關しては本多教授(K.Honda, Iron and Steel Institute (1919), II, 417)の適確なる説明ありて最早論ずるを要せず、然れ共是を實地に應用して其效果を現さしむる爲には特殊の裝置によるに非ざれば完全を期し難し。

又健淬に附帶して健淬後の自發變化（第一編參照）あり、焼割れの現象 (K. Honda and T. Matsushita, Tôhoku Science Reports 8. (1919), 31.) あり。而して此等に關しても其の理論と之を除去すべき方法とは一通り解決されたりと雖も未だ完全に焼割れを防止すべき方法を知らず。又自發變化の原因たるべき α -マルテンサイトが如何なる場合に生ずるか、又之を生ぜざるが如き健淬方法或は α -マルテンサイトを生ぜざる特殊の合金鋼が作り得べきか等の問題に關しても尙研究を要

する點多し。

されば健淬操作の間に起る鋼の變化の状況を精確に觀測して其の物理的意義を明確にすることは理論上甚だ興味ある問題たるのみならず實用上にも亦極めて重要な問題に屬す。

本研究は此等の目的の幾分をも達せんが爲になしたるものにして先づ次の如き裝置を造り之を以て種々の方法にて健淬作業を行ひ健淬の際鋼の内部に起る物理的變化を明瞭ならしめ之によりて種々の有益なる結果を導出し得たり。

第一章 健淬状態自記裝置

第一圖に本裝置の大要を示す。其原理は本多教授の焼入研究裝置と同一なり。ABは健淬状態を試験すべき試料にして其の兩端の中央に孔を穿ち置き、裝置のX及びYの尖端間に挿まる。XXは軟鋼よりなる支棒にしてYYはE及びFを貫通して強き發條Sに由りて試料のB端を押す。Yの右端はMONなる挺子の一端Nと三味線絲によりて繋がる、Mにペンを附け、時計仕掛けにて回轉する圓筒C上に巻きたる紙上にNの運動即ちABの長さの變化を現はす。XX, YYに長さの變化な

くABの長さを變化すればM端の運動はOM:ONの比に擴大せらる。Sは弱き發條にして挺子を常に左方に引く。

本装置を以て或る種の鋼の健淬狀態を研究するには先づ試

料ABを爐内にて熱し所

要の溫度に達せしめたる

後、本装置の時計仕掛を

回轉せしめたる上之を爐

内に挿入して急速に試料

を挾み出し適當なる液中

に入れて動かしつゝ健淬

作業を行ふ。試料採出中

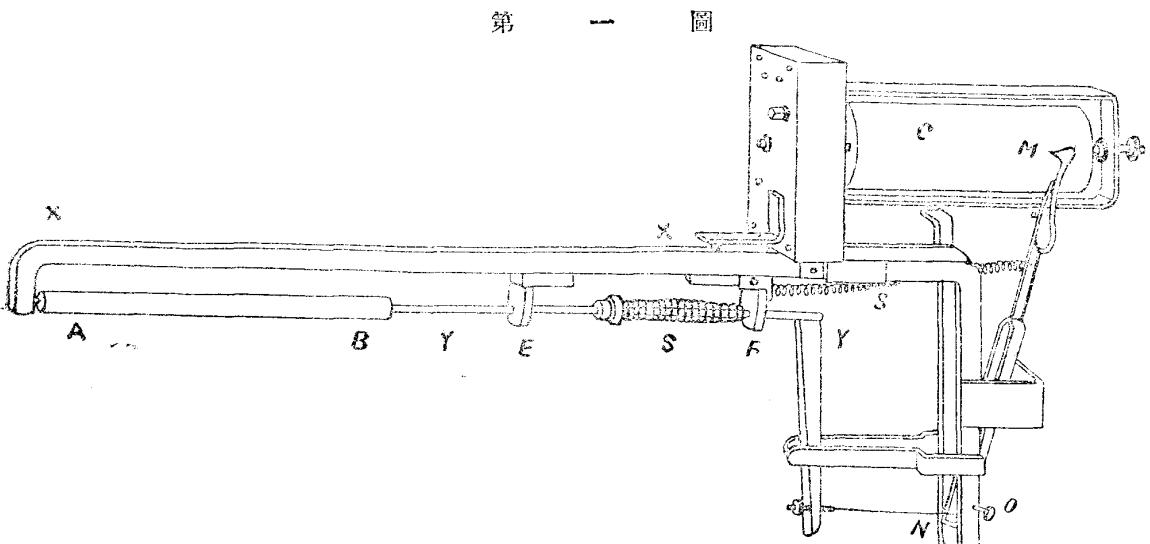
にXXが爐内の熱を受け

て長さを變化するを防ぐ

ためこの部分を石綿紐に

て包みて熱の傳導を避け

たり。

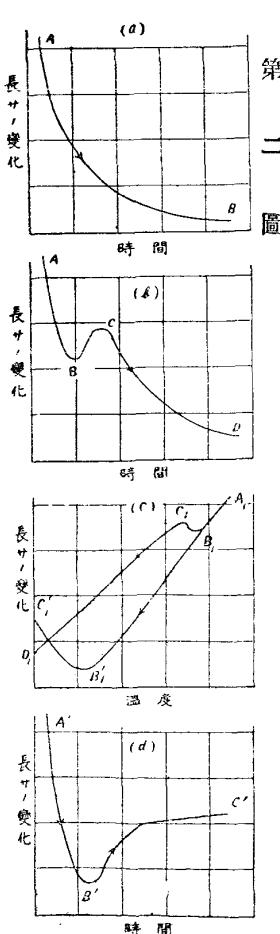


圖

1

圓筒Cは一樣なる速度にて回轉するが故にペンの畫く曲線は熱冷却曲線(Thermo-metric Cooling curve)と同様なり。即ち試料が變態溫度を有せる場合成は變態點を有す

るとも其の際長さの不連續的變化なき場合には第二圖(a)のABの如き收縮曲線(Dilatometric cooling curve)を畫くべし。鋼に於てはAr₃及びAr₁點に於て著しく長さを増すが故にCD間はパーライト鋼の冷却曲線なり。此二曲線の間を連ねるBCはオーステナイトよりパーライトへ變化する爲に生ずる長さの變化を表はす。之を溫度に對する長さの變化の曲線にて表はせば第二圖(c)のABC'Dの如き曲線となる、此のB'點は試料の冷却速度の大なる程下降す。若し水或は油中に健淬してマルテンサイトを生ずる時はB₁せB₁'に下りC₁せC₁'にて長さを變化するを防ぐためこの部分を石綿紐にて包みて熱の傳導を避けたり。



圖

(b)

(c)

(d)

(e)

(f)

(g)

(h)

(i)

(j)

(k)

(l)

(m)

(n)

(o)

(p)

(q)

(r)

(s)

(t)

(u)

(v)

(w)

(x)

(y)

(z)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

(jj)

(kk)

(ll)

(mm)

(nn)

(oo)

(pp)

(qq)

(rr)

(ss)

(tt)

(uu)

(vv)

(ww)

(xx)

(yy)

(zz)

(aa)

(bb)

(cc)

(dd)

(ee)

(ff)

(gg)

(hh)

(ii)

溫度幾度に相當するかを知る可く、又高炭素鋼の細き棒を水の如く極めて冷却效果大なる液中に健淬して其の時のB'點を水の溫度と見て長さと溫度との關係を知るを得。實驗の結果に依るに後の方針にて得たる値は前の方針にて計算したる値と甚だよく一致す。且つ後に説明する如く高炭素鋼のマルテンサイトへの變化は試料が殆ど液温に達してより始まるものなるが故に常に後の方針にて溫度の尺度を定めたり。從て縱軸は溫度を表はすものと看做すことを得。但し溫度はA'を基點とす。この溫度は健淬溫度にとり之よりB'への長さを測りて之を溫度に換算するものとす。B'以後の曲線は斯くして定めたる溫度に對應するものに非ずしてマルテンサイトに變化するため起る膨脹の状況を示すものなり。又B'點は試料のマルテンサイト化に伴ふ膨脹と熱的收縮とが其の大きさに於て互に相等しきときなるが故に厳格に云へばマルテンサイト化の始まる溫度に非ず。マルテンサイト化はB'點にて表はさるゝ溫度よりも稍高き溫度にて始まり。然れ共其の溫度差は知ること難し。故に本研究に於てはB'點を變向點と名づけて變態點の如く取扱へり。實驗の結果に由れば此の差は左程大ならざるが如し。

斯くして溫度の尺度を定めたる後種々の健淬作業を行へば一、曲線 γ に對するB'の位置より變態點降下の程度を知るを得べし。

二、健淬曲線の切線より各點に於ける冷却速度を知り得る

が故に冷却速度と變態點降下との關係を知るを得べし。

三、又所要の健淬をなすには水中健淬にては變態點降下しがれることあり、斯かる場合には適當なる溫度に達したる時水中より取出し空氣中にて變態を起さしむるが如き特殊の操作をなすを得べく從て本多教授の健淬論より導出されたる二段健淬を實地上に且つ正確に行ふを得べし。

終りに本装置の正確度に就きて考ふるに装置全體殊にXX, YYの部分に長さの變化なしと假定すればペンの畫く曲線は試料ABの長さの變化を ON:ON の比に擴大するものなるが故に、其の長さの變化と溫度變化との關係を算出するを得べし。本装置に於ては

$$ON = 5\text{cm}, OM = 14.6\text{cm}, AB = 2.2\text{cm}$$

なるが故にオーステナイトの線膨脹係數を $\alpha = 0.000015$ とすれば 10°C の溫度變化はペンの運動にて約一耗に現はるゝこととなる。健淬中水又は油中にて試料を動かすが故にペンの尖端は少しく運動すれども其の幅一耗に達すること稀なり。

固定棒XXが試料を採出する際爐中に入りて熱せらるる影響を檢するため試料の代りに石英管を挿みて所要時間約一〇秒間 850°C の爐内に入れ置き直に取出して水中に急冷するに全く長さの變化を現はさず。次に之を少しく長時間約二〇秒爐内に置き取出して空中に放置したるにそれより約五〇秒の後一耗の變化ありて XX の膨脹せることを示せり。此の膨脹は僅に二秒餘にて終り其後は全く變化を認めず。即ち上記五〇

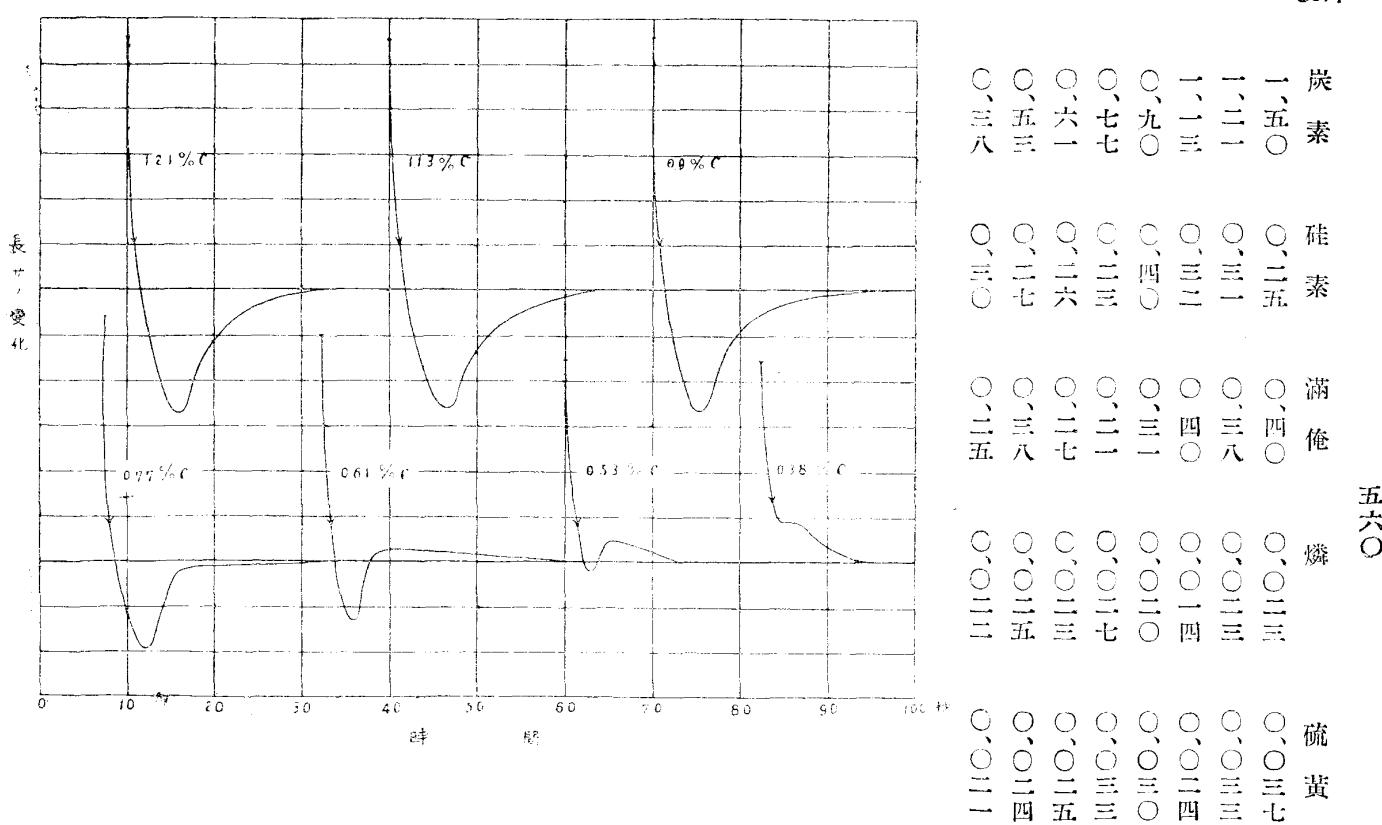
秒は石綿を通して熱の傳導する時間にして普通健淬の場合には此の時間は極めて小なるが故にXXの温度は高まることなし。然るに此の種の實驗を石綿を巻くことなしに行へば約 10°C に相當する膨脹を現はしたり。之に由りて石綿紐は完全にXXの熱膨脹を防止することを知り得たり。然れ共尙試料を探出して水中に健淬する迄に試料の冷却することあり、ペンが運動方向を變換する時幾分の狂ひを生ずべく又オーステナイトの線膨脹係數は溫度によりて幾分相違あるが故に一耗(10°C)の狂ひは免れ難きが如し。

第二章 實 驗

實驗第一 各種炭素鋼の健淬曲線

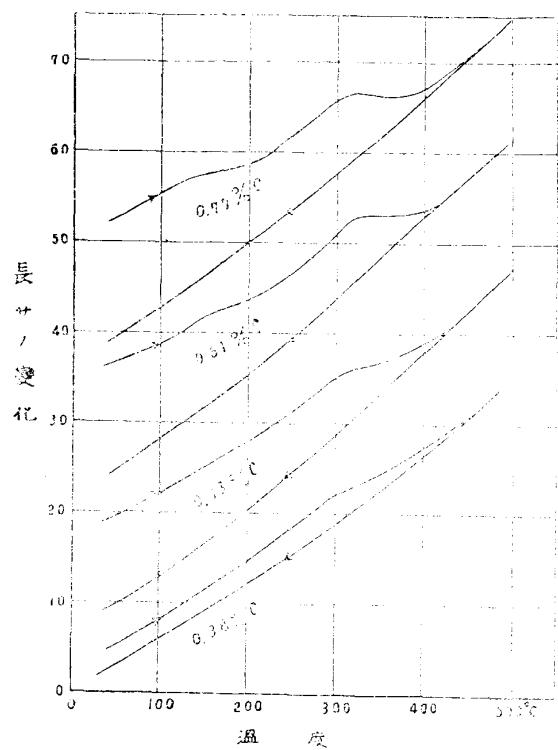
鋼は健淬に由りて其の體積を増加す。其の量は炭素含有量と共に増加する外健淬效果の大小に依りても亦増減あり。健淬せる高炭素鋼は異なる二種のマルテンサイトよりなり常温に於て緩慢なる收縮をなせ其炭素量を減ずるに従ひ々は消失してのみとなり。緩慢なる膨脹を現はし更に低炭素鋼に於ては α をも失ひて全く健淬せられざるに至る。中間の炭素鋼に於ては健淬效果の大小に由りて α マルテンサイトを含むこともあり含まざることもあり。是等の原因に就ては本教授の健淬理論にてよく説明するを得たり。更に此れを實驗的に知るには成分を異にする各種炭素鋼の健淬曲線を畫かしむることを要す。此の目的の爲に次の八種の炭素鋼を作れり。

第一三圖



試料は直經一三粍長さ二二粍の丸棒を用ひ何れも 850°C より水中に健淬せり其の結果は第三圖に示すが如し。

第四圖



又此の健淬試料中低炭素のものに就き高溫度熱膨脹試験を行なしたる結果は第四圖の如し。

第三圖に於て横軸に平行なる直線は各炭素鋼の健淬後の長さを表はしたり。圖によりて明なるが如く變向點は高炭素鋼に於ては殆ど相等しく低炭素鋼に於ては炭素低き程溫度高し。又變向點よりの膨脹量即ちマルテンサイト化による膨脹量と其の間に起る收縮量との差は〇・九%以上の炭素鋼に於ては殆ど相等しく〇・九%以下のものに於ては炭素低き程次第に小なり。〇・六一%及び〇・五三%の炭素鋼に於ては此膨脹量は小にして且つ膨脹の後收縮を現はせり。而して此等は

第四圖に見るが如く殆ど α マルテンサイトを含まず。故に此の收縮は次の如く説明せらるべし。 α マルテンサイトの起る溫度高き故熱收縮大なると一部のマルテンサイトの分解即ち反淬に伴ふ收縮との合成效果なり。 $0\cdot3\sim8\%$ の炭素鋼に於ては更に高溫度にて變態を起すが故に膨脹と收縮とは相消し合ひ一時長さの變化を現はざるに至りマルテンサイト化の進行へたる後始めて收縮を生ずるなり。

此等の結果に由りて同一狀況にて健淬する場合には炭素含有量低き程マルテンサイト化は高き溫度より始まり且つ α を含まざるマルテンサイトを生ずるを知る以上の結果を第一編第二章の結果即 α マルテンサイトは 200°C β マルテンサイトは 400°C に於て完全に消滅する事實(α マルテンサイトは 170°C β マルテンサイトは 340°C に於て消滅速度最大なれ)共全變化の終るは 200°C 及び 400°C を見る可とす)と比較して考ふれば次の結論を下すを得。低炭素鋼に於て健淬效果不充分にして α マルテンサイトを伴はず β マルテンサイトのみを有するものはマルテンサイト化が 200°C 以上 400°C の間に於て起りたるものたるべく、健淬效果充分にして α マルテンサイトをも含むものはマルテンサイト化が 200°C 以下にて起れるものなるべし。何となれば α マルテンサイトは 200°C 以上の溫度に於ては直に消失するを以てなり。又變態が 400°C 以上にて起れるものは其に α 及び β を含まずして組織はトルースタイト或はソルバイトなり。勿論 400°C 以上にても一度マル

テンサイトを生じて更にトルースタイト或はソルバイトに變するものなれば冷却速度によりて此の温度は多少上下に移動することあるべし。200°Cに就きても同様なり。從て同一鋼に於ても健淬效果大なる水にて健淬すれば其に現はれ、從て健淬後自發收縮を現はすに反し健淬效果小なる油にて健淬すればのみを含みて自發膨脹を現はすに至るべきなり。

本實驗によりて健淬曲線は高炭素鋼に於て著しく變化するを知るが故に健淬方法又は各種健淬曲線を研究するには高炭素鋼を用ふるを可とす。以下は専ら此の方針にて實驗せり。

實驗第二 健淬液(水)の溫度の影響

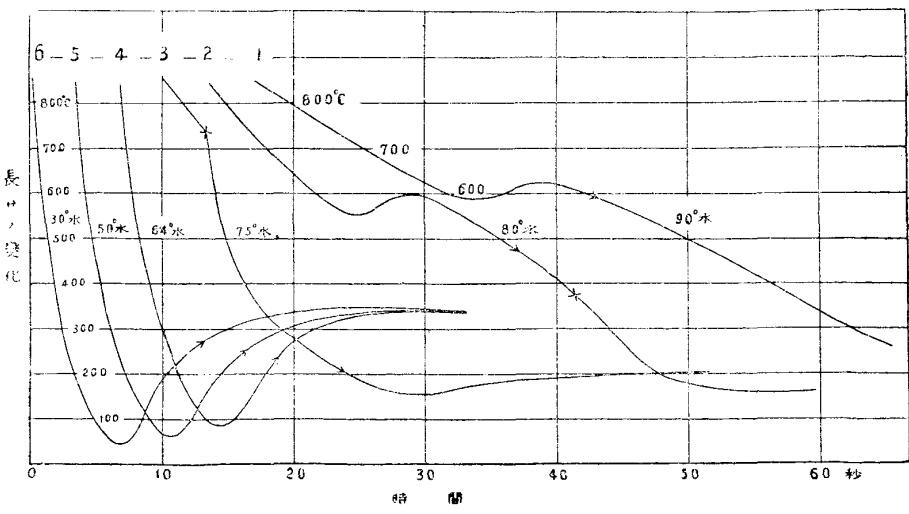
健淬液たる水の溫度が健淬作用に及ぼす影響を見るため石油罐に水を充たし瓦斯焰を以て下部より種々の溫度に熱せり。試料は〇・八%の炭素鋼にして太さ一・五糰の丸棒なり。これを二二糰に切りとり何れも暫く850°Cに熱したる後上記裝置を以て挿み出し次の各溫度の水中に投じ振り動かして健淬せり。

試料番號	一	二	三	四	五	六
水の溫度 (攝氏)	九〇	八〇	七五	六四	五〇	三〇

此等の實驗によりて得たる曲線は便宜上まとめて第五圖に之を示す。

圖に於て曲線一は850°Cより90°Cの水に入れて振り動かしたる場合の冷却曲線にして其の冷却速度著しく小なるは水の沸騰點に近き爲め試料が水蒸氣にて蔽はれて直接液態に接觸

せざるに由る。曲線一は80°Cの水中に於ける冷却曲線にして途中(×印)まで冷却する間は試料は水蒸氣に蔽はれて水と接觸せざれども其後水と接觸して冷却稍速かなり、試料が水と接觸せるや否やは水が試料に触るゝとき發する音(燒石に水を注ぎたる時と同じ)にて知るを得べし。曲線三は730°Cにて試料を蔽へる水蒸氣消滅して液體と接觸状態に達し從て以後の冷却急速にして健淬状態に近きを示す。曲線4,5,6は夫々64°, 50, 30°Cの水中に健淬したる場合にして何れも完全なる健淬状態を示す。其の變向點何れも約20°Cの差を示すが故に試料は水温に近づきてマルテンサイト化を始めたるを知る。從て組織は何れもマルテンサイトにして其の硬度にも差違を認めず。理論上には此等の曲線の傾斜に相違あるべく又硬度に於ても幾分

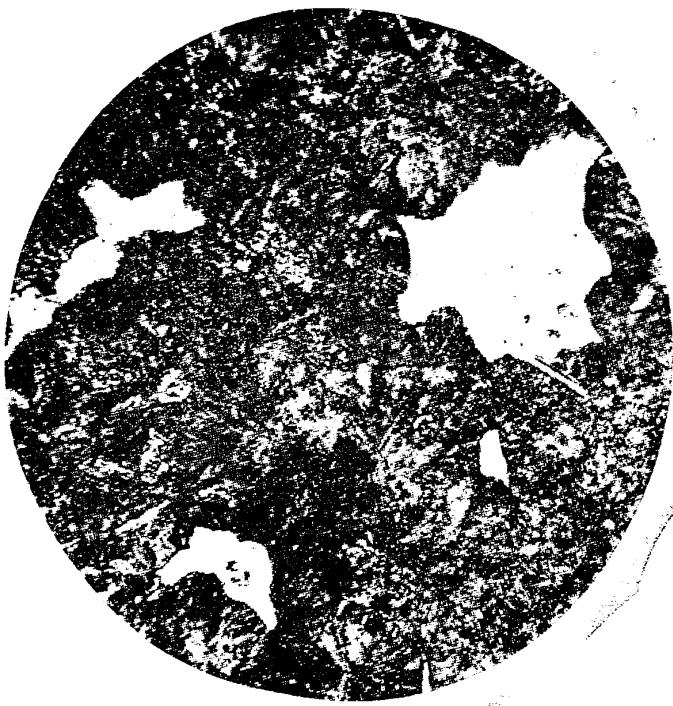


第 五 圖

差異を生ずべけれども本装置に於ては之れを認め難く又シニア硬度計にても其の差は實驗誤差の範圍内にあるが如し此等の比較に最も適當なるは次編に述ぶるが如く試料の磁氣的硬度を比較するにあり。

上記各試料の組織を鏡検せる結果は第一表記載の如くにして試料一及び二はソルバイト及びパーライトよりなる。

試料番號	水の溫度(攝氏)	顯微鏡的組織(攝氏)	ショア硬度	第一表 健淬液の溫度の影響					
				一	二	三	四	五	六
一	九〇	ソルバイト+パーライト	三五						
二	八〇	ソルバイト+マルテンサイト	三六						
三	七五	トルースタイト+マルテンサイト	四〇~六〇						
四	六四	マルテンサイト	六八						
五	五〇	マルテンサイト	六八						
六	三〇	マルテンサイト	六八						



試料の組成倍数

液態の健淬能に關しては米人 N. B. Pilling 及び T. D. Lynch 氏 (N. B. Pilling and T. D. Lynch, C. E. Transaction of the American Institute of mining and metallurgical engineers) の研究あり。其結果によれば一液體中にて靜かに試料を保つ場合には其の冷却速度に三階梯あり。即ち蒸氣にて包まるゝ時期液體と接觸せる時期及び其の中間の變移期なり。而して此の變移期に於ては冷却特に著し。試料が最初蒸氣に蔽はれて冷却する間は蒸氣の熱傳導度悪しが爲め試料の表面と液體と

試料三は一樣なるトルースタイトの間に白色のマルテンサイトが挿まつて存在すること恰も Ar₁ 變態の中途より健淬したものと同様なり。但し試料の上部にはマルテンサイト少く下部には多し。此の曲線が 400°C 附近にて曲れるは變態が一部起りてマルテンサイトを経てトルースタイトに變ずるが爲にして其の變化の進行する間は曲線は傾斜すること著し。更に低溫度にて幾分長さを増せるは殘部がマルテンサイトに變ずるが爲なり。同様の結果は第六圖曲線四にても見らる。此等の結果より成る程度の太さを有する鋼は冷却速度を如何に加減するとも單純なる健淬によりてはマルテンサイトに極めて近きトルースタイトの一様なる組織を得ること困難なるを知る。完全に健淬してマルテンサイトを作り之を徐々に 300°C 乃至 400°C の間に反淬すれば全部一様に次第にトルースタイトに變するが故に其變化の中間の組織を造ることを得べし。之れ反淬操作の必要な所以なりとす。

の間に著しき溫度差ありて試料の表面は常に液溫よりも著しく高し。之れが液體と接觸を始むれば表面は急に液溫まで冷却せざるべからず。此の爲め試料は全體として急速に冷却す。

以後は試料の溫度低さ

爲め冷却は變移期に於けるが如く急速なら

ず。此の現象は兩氏の

實驗に於けるが如く細

き試料に於ては明瞭に

觀察するを得べきも本

實驗に用ひたるが如き

試料に於ては然らず。

概して二段の冷却を現

はすのみなり。

實驗第三 試料

の太さの影響

炭素〇・九%を含む
炭素鋼にて長さ二二粍
にして次の直徑を有す

る試料五本を作りて試験せり。

試料番號

直 徑 一九、〇

一五、八

一三、〇

九、四

六、八

五

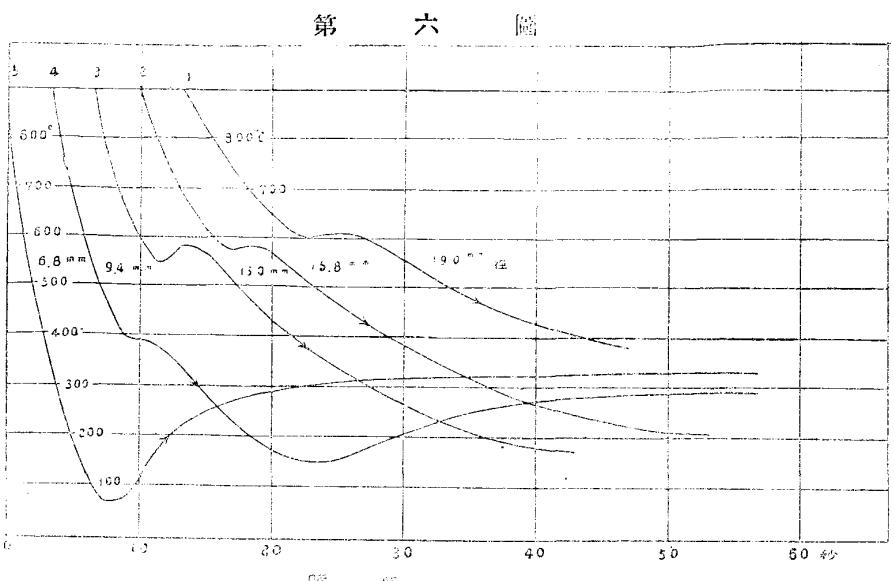
健淬溫度は 850°C とし健淬液としては冷却作用弱き鯨油を探

用せり。是れ試料の内外一樣なる状況を取らしめんが爲なり。此の場合の冷却曲線は第六圖の如し。

試料が太さを減するに従ひ A_1 點は始めは徐々に終りは急速に低下す。試料四に於ては 400°C 附近に於て一部分變化し殘部は低溫度に於てマルテンサイト化せるを示すこと第五圖曲線三と同様なり。試料五は全部マルテンサイト化す。試料四に於ては變向點高く現はれたるによりマルテンサイトを含まざるにあらずやとの想像より之を以て高溫度に於ける熱膨脹試験を行なしたるに 850°C の兩マルテンサイトは相當の割合にて存在するを認めた。然れ共其の全量に於ては〇・九%の炭素鋼が有すべき量よりも稍少し。是れ一部分トルースタイトに變化せるが爲めにして其の事實は顯微鏡によりて直接見るを得ざりしも折線の 400°C 附近の屈曲より推知するを得たり。

次に反復健淬（二度焼入れ）の效果を試験する爲め上記五種の試料を更に繰返して 850°C より同じ液に健淬したるに其の結果は第二表に示す如くにして何れも其の變向點は前の場合よりも低下せり。例へば試料三に於ては第一回の健淬にて變向點約 550°C にありたるに關はらず第二回に於ては 90°C に低下し殆ど完全に健淬せられたり。是れに由れば健淬を繰り返せば油の健淬效果を強むるを知る。

炭素含有量少き鋼又は炭素量多くとも稍々太き試料は一度の油中健淬にては十分硬度を増し得ざれども之を二回健淬せることは其の硬度殆ど水健淬のものに劣らざるに至る。反復



第六圖

健淬が健淬效果を進むることに關しては更に磁氣的硬度によ
りても實驗せり。

第二表 試料の太さ及び反復健淬の影響

番號	直 径		變 向 點
	第一回健淬	第二回健淬	
一	一、九〇	六〇〇	五五〇
二	一、五八	五八〇	五〇〇
三	一、三〇	五五〇	九〇
四	〇、九四	一五〇	四〇
五	〇、六八	六〇	三〇

第三表 各種油の健淬能の比較

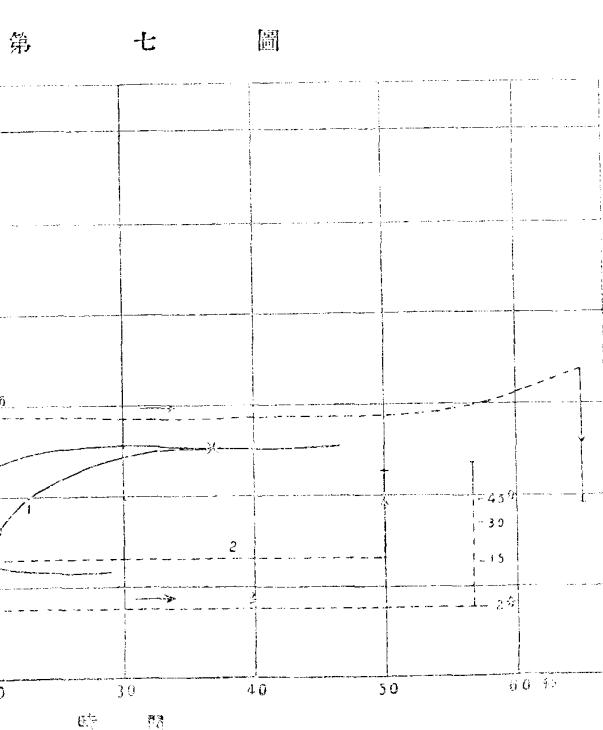
前試料と同一成分にして直徑一・二釐を有する炭素鋼をと
り他の條件を全く同一にして健淬液を變じたる實驗をなせる
に其の結果は次表の如し。

試料番號	健淬液		攝氏溫度	變向點
	攝氏溫度	攝氏溫度		
一	鮫油	八五〇	五六〇	
二	ダイナモ油	九〇〇	"	
三	石機油	"	五四〇	
四	機油	五五〇	"	
五	種油	"	"	

此の結果に由れば上記各種の油は何れも健淬不充分にして
變向點は 540° 乃至 560° の間にあり從つて組織は何れもソル
バイトとトルースタイトよりなる。其内石油は最も健淬能大
にして鯨油及びダイナモ油最も弱し。此の差は主として液の
粘性によるものを知る。

此等の液の物理的常數（比熱、熱傳導度、粘性係數、沸騰
點、蒸發の潜熱等）が如何に健淬能に影響を及ぼすかを精細
に攻究するは興味ある問題なるべし。

本實驗の結果及び前記二種の實驗の結果を通覽するに變態



點の降下には二つの特殊の點あるを認む。即ち變態點は 550° 。
附近までは冷却速度と共に降下すれども此の點を通過するこ
と稍々困難なるが如し。更に冷却速度を増加すれば變態點は

約400°に下され、此の溫度を通過すれば殆ど液の溫度まで降下さるゝを知る。

實驗第五 二段健淬

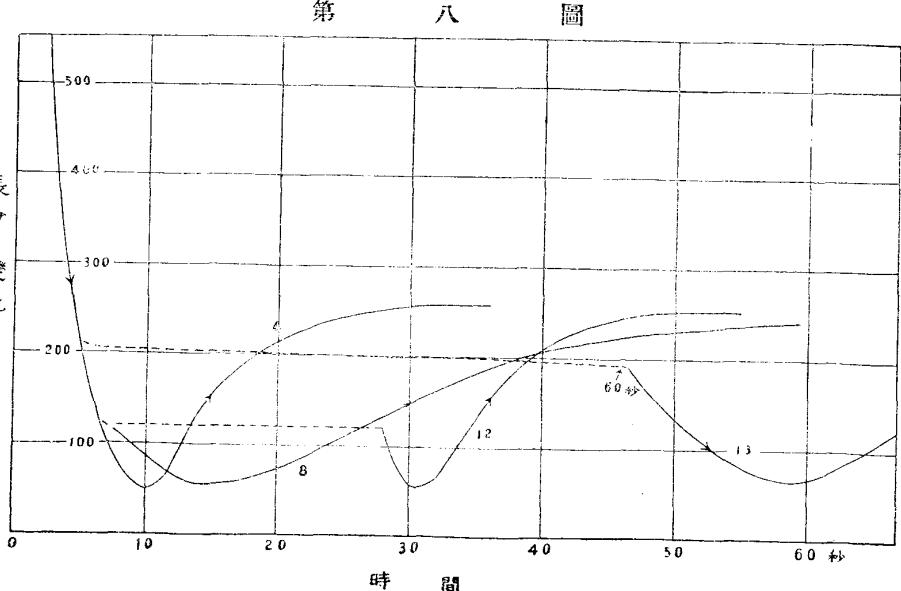
本裝置に依れば健淬操作中に於ける試料の溫度を知るを得るが故に冷却の途中適當なる溫度にて水中より取り出すか或は之を油中に移す等の操作を自由に遂行するを得。是れ本裝置の特徴なりとす。

此の種の實驗の結果は第七圖及び第八圖に示すが如し。本圖に於ては縱軸を二倍に擴大して表はせり。而して曲線中點線にて表はす部分は試料を空氣中に出したる間に書きたる曲線なり。第七圖に於て曲線1は變向點に達したる間に書きたる曲線より引き出し空氣中に數秒間保ちたる後再び水中に入れたる曲線なり。空氣中にも少しく膨脹し其の後は長さを變化せし更に水中に入れば著しく長さを増してマルテンサイト化の進行することを示す。

空氣中にて少しく膨脹するは溫度が高まりたるに非ずしてマルテンサイト化の爲の膨脹なり。變向點はマルテンサイト化の爲の膨脹速度と熱的收縮の速度とが相等しきときに現はるものなれば熱收縮止みてマルテンサイト化のみ進行すれば膨脹を生ずべし。水中より取出せば熱的收縮は直に止めどもマルテンサイト化の爲の膨脹は幾分後れて現はるゝは當然なり。曲線2は同様の實驗をなし更に長時間（約四十秒）空氣中に保ちたる後水中に入れたる場合の曲線なり。但し空氣

中に取り出す時間は前よりも少しく後れたり。又四十秒の終りに時計仕掛は回轉を止めたるによりマルテンサイト化による膨脹は垂直の直線にて表はさる。曲線3は變向點に達する少しく前に空氣中に出したる場合にして時計が二回轉する間（約二分間）は殆ど長さの變化即ちマルテンサイト化の進行を認めざれども更に引き續き空氣中に放置したるに徐々に其の長さを増してマルテンサイト化の進行を示したり。

四五分間にして相當の膨脹起りたるを以て之を水中に入れたるに更に上記膨脹量の約 $\frac{1}{4}$ の膨脹を起したり。空氣中放置の間に於て試料の溫度は室溫と大差なく只僅かに高きを示せり。曲線4は始終水中にてマルテンサイト化を起らしめたる場合即ち普通の水健淬の場合の曲線なり。其のマルテンサイト化に伴ふ體積の増



加の急激なるは注目に値す。本試料はマルテンサイト化の終結に近き點に達したるとき焼割れを生じたり。曲線5は4と同様にして焼割れを生ぜざりしものなれば圖に示すを略した。曲線6は冷却の途中約 300°C より空氣中に出したる場合なり。空氣中に於ては始めに少しく收縮するのみにして其の後長さの變化なく最後に少しく膨脹せり。其の時試料を再び水中に入れたるに著しく收縮を示したり。而して冷却の終りに焼割れの音を聞きたるにより之を取り出して檢したるに下方にのみ焼割れあるを認めたり。此の試料に就き長さに沿ひて硬度の分布及檢鏡試験をなしたるに最下部の割れを生じたる部分はマルテンサイト組織を有し硬度最大なるに反し上部はトルースタイトにして硬度小なり。今此れを曲線に對照して考ふるにマルテンサイト化は最初空氣中に於ける五〇秒間に徐々に起り其膨脹と空中冷却による收縮と相消して長さの増減を生ぜず而かも此の場合には溫度高きが故に冷却速度大なるべく從てマルテンサイト化は相當に速かなり。斯くして生じたるマルテンサイトは其の溫度高きが爲め一部分は更にトルースタイトに變化す、此の變化が起り始むるや發熱著しき爲め長さの膨脹を現はすに至る之れ最後の膨脹なり。下部は最初に水中に入れられ最後に引き出さるゝが故に其の冷却は幾分上部よりも進行す。從つて空氣中にてのマルテンサイト化も遲緩なるべく生じてたるマルテンサイトのトルースタイト化も一層困難なり。從つて水中冷却後マルテンサイト化も一層困難なり。

組織を有す。曲線3の點線の部分に於ても曲線6と同様にしてマルテンサイト化の膨脹と冷却による收縮とは殆ど相消し合へり。而して此の場合には溫度低きが故に冷却による收縮も小なり。故に空氣中にてのマルテンサイト化は試料の溫度より空氣中に取り出したる場合にして變態は直に起り再輝現象を呈して赤熱となる。此の膨脹の殆ど終りたるとき再び水中に浸せるに組織はマルテンサイトを含まずしてトルースタイトなりき。又高溫度に於ける熱膨脹試験によるもマルテンサイトの存在を認めず。之れによりて見るに變態點の降下が 350°C を越ゆると否とによりて著しく其の變化の狀況を異にする。第一編第三章健淬鋼の高溫度に於ける長さの變化より推知するを得る如くマルテンサイトを 350°C 以上に熱すればトルースタイトに變するが故に若しオーステナイトよりマルテンサイトへの變化が 350°C 以上にて起ればマルテンサイトは更に第二の變化をなしてペーライトとなる。

之に反して第一の變化が 350°C を降ればマルテンサイトを生ずるとも反淬され難く從て第二の變化も進行し難し。上記實驗の結果より見るに健淬作用の主要なる條件はオーステナイトの儘にて 350°C を通過せしむることにて此の冷却速度迅速なる程即ち此の間に幾分なりともトルースタイト化を生起せしめる程健淬は完全に行はる。 350°C 以上にて變化を始むるとも其の冷却速度大にしてオーステナイトよりマルテン

サイトへ變化したるのみにしてマルテンサイトよりパーライトへの變化の起り得ざる間に 350°C 以下に降るとさは尙ほ健

淬狀態を得べし。而して 350°C 以下まで冷却したる上は冷却速度は大なるを要せず。されば 350°C 以下まで水中冷却せるものは其の後の冷却如何に關せず殆ど同様のマルテンサイトを生ずべし。從つて 350°C 以下の冷却を水に換ふるに油を以てすればマルテンサイト化が徐々に且つ内外一樣に進行し内部に歪みを生ぜしむる等の恐れなかるべし。余は上記の想像

より次の實驗をなし硬度を比較すると同時に之を同一溫度にて反淬して反復打擊試験をなしたり。第四表は此の結果を示す。又第八圖は此等實驗中の一二三の曲線を示す。曲線 8 は水中に健淬して 120°C に達したるとき取り出し直に鯨油中に入れたる場合の曲線なり。其のマルテンサイト化による膨脹が完結するまでには約一五〇秒を要せり。曲線 4 のマルテンサイト化の急なるに比すれば約五倍の時間を要す。從て内外一樣に變化を起し歪を生ずること少かるべし。

曲線 12 は 120°C より取り出し約二〇秒の後更に水中に入れたる曲線なり。之を曲線 4 と比較すれば單に空氣中にありたる部分だけ變位したるのみなり。線曲 13 は 210°C より六〇秒間空中に出したる後油中へ浸したるものなり。空氣中に在る間に幾分長さの收縮を表はすは空中冷却の爲なるべし。

第四表 二段健淬

番號	試料	健淬方法	氏硬度	シヨニア 硬度的	反復打撃備	松村式打撃備	考
一	變向點にて空中一〇秒後水中	ガラス	一	一	一	一	高溫熱膨脹試験にて相當量の α, β マルテンサイトありたり。
二	〃 " 四〇秒 "	ガラス	一	一	一	一	
三	約 80°C にて空中四五分 "	ガラス	一	一	一	一	
四	完全水中健淬	ガラス	一	一	一	一	
五	"	充氣	充氣	充氣	充氣	充氣	
六	30°C にて空中六〇秒後水中	ガラス	一	一	一	一	上部マルテンサイト下部マルテンサイト
七	40°C " 再輝後 "	ガラス	一	一	一	一	α, β マルテンサイトなし
八	120°C 空中直ちに油中	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	
九	130°C " "	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	
一〇	水中完全健淬	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	
一一	120°C 空中直ちに油中	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	何れも六百度に反淬して二〇秒を加へたるものなり。
一二	" " 二〇秒後水中	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	
一三	210°C 六〇秒後油中	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	
一四	120°C 三〇秒 "	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	ガラス	

第四表によるに第二回の健淬液は水よりも油の方成績良好なり。即ちショア A 氏硬度に由るも磁氣的硬度によるも其の油中健淬の方大なり。又松村式反復打擊試験によるも其の成績概して良好なり。試料一二三の成績不良なるは其の溫度 (210°C) 高きに過ぐると空中放置時間 (六〇秒) 長きが爲なり。

是によりて安全なる健淬方法としては、水中に 300°C から 50°C まで急冷しマルテンサイト化の初期に水中よりとり出して静に油中に浸すにあり。然るときは水中健淬と何等差違を認めず寧ろ硬度大なるを知る。之れ一度の水中健淬にては幾分オーステナイトを残すべからぬに油に移したる爲めに其の量減じた

るに由る。

此の場合に於てはマルテンサイト化が極めて徐々に起るが故に内外同時に且つ一様に硬化され從つて焼割れを生ずること少かるべし。

結論

上記各実験の結果を總括すれば次の結論を得。

(1) 變態點降下は冷却速度に依りて變化する外又炭素含有量によりて著しく相違す。低炭素鋼は水中健淬によるも尙ほ稍々高き温度にて變態を生ず。高炭素鋼は殆ど液温に近づきて變態を始む。健淬中此の變化が 200°C ~ 400°C にて起れば α マルテンサイトを含まざるべく 200°C 以下にて生ずればマルテンサイトは α 及び β よりなる。

鐵線工業の發達史

佐藤慶二郎

私は序でへ正九年十二月藏前工業會誌及大正十年三月「鐵と鋼」參照) 鋼線の性質に就て論じた一文の中で、針金の發達に關して少しく述べた事がありまし
た。其の後種々の書物を見て居るうち、前に書いたものの中には幾分誤りもあるし、又別に面白い資料もある事を見附けましたので、ワイヤロープ及び釘と云ふ様なものを一括して鐵線工業と見做して書いて見ました。斯うした沿革のみでも云知れぬ趣味を覺えますが、後世になつてからの大會社の興隆とその時代に於ける經濟狀態などを研究して見たら尙面白味があらうかとも考へて居ます。

一 有史前の針金

(2) 變態點降下には二つの特異點あり 550°C 及び 350°C 是れなり。試料の溫度 350°C 以下に下れば高炭素鋼に於ては變態溫度は液温に達すれども低炭素鋼に於ては然らずして炭素含有量低き程液温より高し。

(3) 550°C 以上にて變態すれば鋼はソルバイト及びパーライト組織を有す。 400°C 附近にて變態すればトルースタイトとなり 350°C 以下に下ればマルテンサイトとなる。

(4) 油を健淬液とする場合には反復健淬は其の健淬效果を増加す。

(5) 最も安全に且つ硬度を大にする健淬法としては先づ水中に入れて冷却し 350°C 以下に下りたる時取り出して油中に移すに在り。

埃及デンデラで發見された頸飾には紀元前二千七百五十年頃(今より約四千六百七十年前)埃及に君臨して居た王の名を彫つてあるが、黃金の卵形の板を粗末な黃金針金の鎖で繋いである。針金として發見されたものでは、バビロニヤで紀元前千七百年頃のものがある。英國博物館には、紀元前八百年頃にアッシリアの古都ニネヴエ住民の作つた針金があるが、之等古代の針金は平たいもので、現今の様に丸い斷面の