

鐵 と 鋼

第八年 第九號

大正十一年九月二十五日發行

健淬鋼の物理冶金的研究 (承前)

松 下 德 次 郎

第三編 健淬鋼の磁氣的硬度に關する研究

緒 論

鋼の性質を明にするには種々の物理的性質を明にするを要す。熱分析、磁氣分析等は其の優秀なるものに屬し従つて夫等より種々の有益なる結果を導出するを得たり。然れ共健淬狀態を研究する方法として從來用ひらるゝ方法は尙完全なりと言ふを得ず。余は新に物理的方法の一として磁氣的硬度（頑磁力）の測定を採用したり。

L. W. Wild も鋼の狀態を表はす一方法として磁氣的硬度 (Magnetic hardness) がシヨアー、ブリネル等の機械的硬度 (Mechanical hardness) と共に使用し得るのみならず、後者に於ては其の測定値が夫々 20~80 (Shore), 200~800 (Brinell) の範圍即ち約四倍以内の變化に過ぎざれ共磁氣的硬度に於ては更に廣き範圍（著者は七十倍と言へるも其の理由は不明なり）

に使用し得ることを述べ、且つ炭素鋼の種々の熱鍊狀態（健淬、反淬、焼鈍）に於ける磁氣的硬度を比較し、又炭素含有量を異にする數種の炭素鋼をとり、各試料に就き健淬溫度を變じたる場合の磁氣的硬度を測定して炭素量と共に其れが増加すること及び磁氣的硬度は健淬溫度に對して一つの曲線を描くことを見出せり、又マンガ鋼及びタングステン鋼に就き、マンガン及びタングステンが健淬狀態及び焼鈍狀態に於ける磁氣的硬度に及ぼす影響を研究せり。以下述ぶる所のものは主として健淬鋼の磁氣的硬度に關係し是れによりて鋼の熱鍊方法を探索するの目的に使用したり。

本多教授の磁氣の理論によれば鋼の頑磁力は機械的硬度と共に結晶粒の大小に關係す、即ち機械的硬度大なる程又結晶粒が小なる程頑磁力は大なり。一方に鋼の健淬に於ては健淬度強くして硬度大なる程マルテンサイト結晶粒も亦小なり。故に健淬鋼の頑磁力を比較すれば其の機械的硬度を比較し得ると同時に其の結晶粒の大小をも知るを得べし。同一鋼の健

2
淬せるものを比較する場合に於て機械的硬度に變化なく頑磁力に差異あれば其原因は内外硬度分布の差によるにあらざればマルテンサイトの結晶粒の大小に歸せざるべからず。

斯の如く頑磁力は機械的硬度と同時に結晶粒の大小をも窺知せしむるが故に、健淬状態を研究する上には極めて重要な常數なるのみならず、さらに次のごとき種々なる特徴を有す。

一、適當なる裝置（本多教授の磁氣分析裝置又は此れに准ずるもの）あれば頑磁力は殘留磁氣を零ならしむるに必要なる反磁場の強さなるが故に正確に測定するを得。

二、測定方法極めて簡單にして且つ其の測定値は試料の形狀大小には殆ど無關係なり。

三、單に表面のみの硬度を表すにあらずして内部との平均値を示すが故に材料全體の性質を判定するに適す。

四、ブリネル又はショアーの硬度計と共に使用すれば試料の内部の様子を想像するを得べし。即ち表面は硬化せるに不拘磁氣的硬度充分強からざる時は内部に硬化せざる部分の存在することを示す。

五、試験に際して試料には全く疵痕を残さず。

上述の如く磁氣的硬度は機械的硬度と常に一致するものにあらず。ショアー硬度とブリネル硬度とは少しく意味を異にするに係はらず兩立して使用せらるゝが如く余は第三の硬度として磁氣的硬度を加へんとす。前二者は主として健淬状態

にて使用せらるゝ鋼の硬度測定に適し、後者は硬度よりも寧ろ調質して使用せらるゝ材料の健淬状態を比較するに適す。従つて鋼の熱鍊方法を研究するに適す。

第一章 鋼の健淬温度

鋼の熱鍊の目的は微細なる結晶よりなる一樣なる組織を作るにあり。此の目的を達する爲には鋼を適當なる温度より適當なる健淬液（普通は水又は油）中に健淬して微細なるマルテンサイト組織を作り更に此を其用途に應じて適當なる温度に反淬してトルースタイト又はソルバイト組織の一樣なるものを作るを常とす。反淬温度は其の用途に應じて機械的硬度又は抗張力試験成績等にて判定し得れども其の健淬状態良好ならざれば此の結果も亦不成績なるを免れず、されば健淬作業の最良條件を見出すことは鋼の熱鍊の主眼なり。

從來或る鋼の健淬温度を検出する方法としては主として硬度計に依れり。然るに硬度計にては僅の健淬温度の差に基く硬度の差は知ること難し。殊に硬度計に依れる測定値は主として表面の硬度に限られ内部の状況は之れを知ることが得ず。

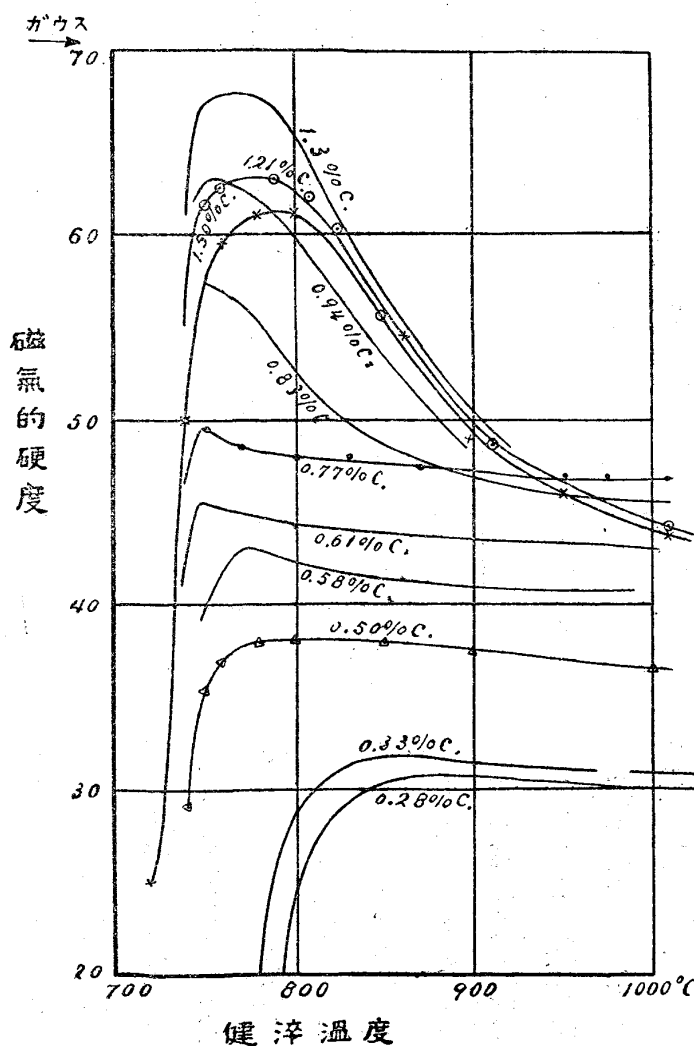
然るに第一圖に示すが如く磁氣的硬度對健淬温度の關係は正確に測定するを得、前述の如く磁氣的硬度は機械的硬度或は結晶粒の微細度に比例し且つ硬度と結晶粒の微細度とは略比例するが故に頑磁力の最大値を與ふる温度を以て其の鋼の最良なる健淬温度と見做すを得べし。従つて健淬温度は同一

鋼に於ても其の大きさを異にする場合健淬液を異にする場合又は健淬液の温度を異にする場合等に應じて夫々多少相違あるは勿論なり。

實驗方法は一本の棒より長さ約十厘の試料數本を切りとり

之を變態點以上にて普通に健淬温度として知らるる温度の前後に約二十度づつ隔てゝ一本づゝ健淬し其頑磁力を測定して健淬温度との關係を曲線に畫くにあり。茲に試料は各部一樣なる一本の棒より採らざるべからず。又試料の加熱及び健淬は總て同一狀況にて行はざるべからざるは勿論頑磁力測定は一日以上の時間を経過したる後之を行ふべし。之れ頑磁力も健淬後緩慢なる自發變化をなすを以てなり。

第一圖



棒が各部一樣なる性質を有するや否やを検するには棒に沿ふて磁氣指力線の分布を測定す。即ち一次コイルの中央に二次コイルを置き、其中心に試験せんとする鋼棒を挿入し、一次コイルには常に一定の電流を通して其の方向を轉換し、二次コイルに生ずる感應電流を Ballistic Galvanometer 又は Flu-x-meter にて測定するなり。先づ棒の各部をコイルの中央に挿入して其の位置に於ける指力線の變化を測定すれば其の部分に於ける磁氣的硬度即ち棒の均一、不均一を知ることが得べし。此の方法は棒の斷面積一樣なるロー

ル製品にあらざれば適用されず。

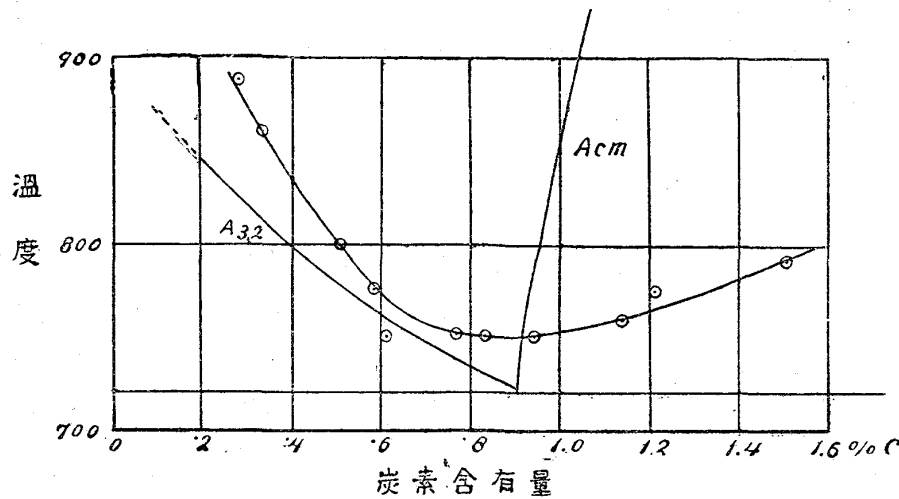
第一圖は各種炭素鋼の健淬温度と頑磁力との曲線にして第二圖は各曲線の極大點に對應する温度と其の炭素量との間の關係即ち健淬温度對炭素量の曲線を示す。

此の實驗に用ひたる試料の炭素以外の成分は 0.61% の

炭素鋼が特にマンガンを 0.87% 含む外何れも殆ど同様にして 硅素 0.36% 以下、滿庵 0.40% 以下、磷 0.25% 以下、硫黄 0.35% 以下なり。従つて 0.61% 炭素鋼の健淬温度は幾分低く現はれたり。之れマンガンが健淬温度を低

下せしめたるによるべし。以上の結果を普通用ひらるゝ健淬温度に比較すれば低炭素鋼に於ては健淬温度幾分高く中間の炭素鋼に於ては幾分低し、又○・九%以上は炭素含有量を増す

第二圖

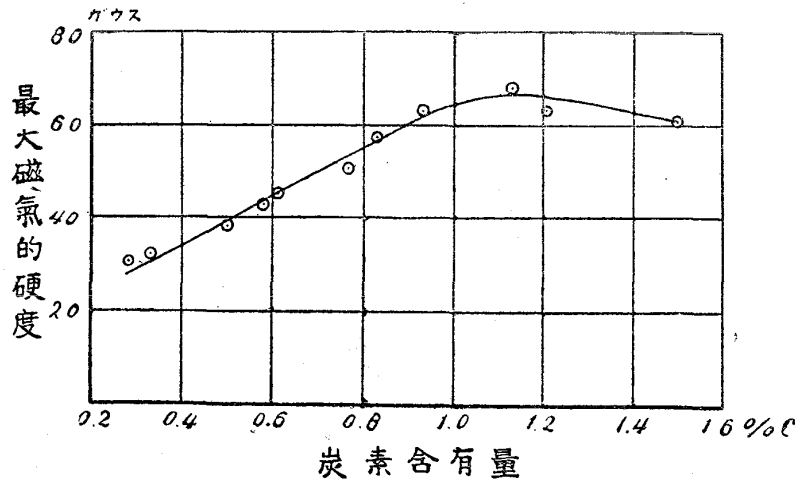


に從ひ健淬温度次第に高まるを知る。今此の健淬温度を採用して各種炭素鋼を健淬し此れを一定温度に反淬したる後抗張力試験をなせるに低炭素鋼に於ては豫期以上の結果を得たり高炭素鋼は健淬後反淬して抗張力試験を行ふこと稀なるが故に上記試験の成績より其の良否を決定すること困難なり。

上記曲線は直径一

・二種の丸棒よりなる試料を加熱し所要の温度に達せしめたる後約十分間其の温度に保ちて室温にある水中に健淬せる場合の結果なり。第三圖は第一圖に於て頑磁力の最大値と炭素量との關係を示す曲線なり。

第三圖



之によれば頑磁力は最初炭素量に比例して増加すれども一○%以上は然らず、却て減少するを知る、是れ普通に考ふるが如く高炭素鋼に於ては幾分オーステナイトを残すことに歸せらるべし。従つて或る程度以上の炭素は鋼の磁氣的硬度に

對しては有害なるを知る。機械的硬度に對しても同様にして一・○以上の炭素は硬度を増すことよりも寧ろ粒狀セメンタイトとなし、切削用鋼として使用する場合の切削力を増すに有効なるものなり。

第一圖に於て高炭素鋼の頑磁力對健淬温度曲線が最大値を経て急減する原因も亦オーステナイトの残存に歸せ

らる。即ち Hyper-eutectoid Steel に於てはA₁變態點以上温度を高むるに從つて遊離セメンタイトは益々多くオーステナイトに溶け込むが故に健淬温度が上昇するに從て愈々多量のオーステナイトを含むべきなり。従て此等の鋼に於ては高温で健淬例へば一千度近傍に於て健淬せる場合には炭素○・

七七%の者が最大頑磁力を表はし、それ以上の高炭素鋼に於ては反つて其れより小なる値を示したり。又〇・七七%以下の炭素鋼に於ては温度の影響左程大ならず、即ち此れ以下の成分範圍の炭素鋼に於ては一十度以下の温度にて健淬するも餘りオーステナイトを含まざるによるべし。

第二章 液の健淬效果の比較

鋼の用途によりては健淬後の硬度は出來得る限り強きを要することあり、或は又一定以上の硬度を要せざることあり。

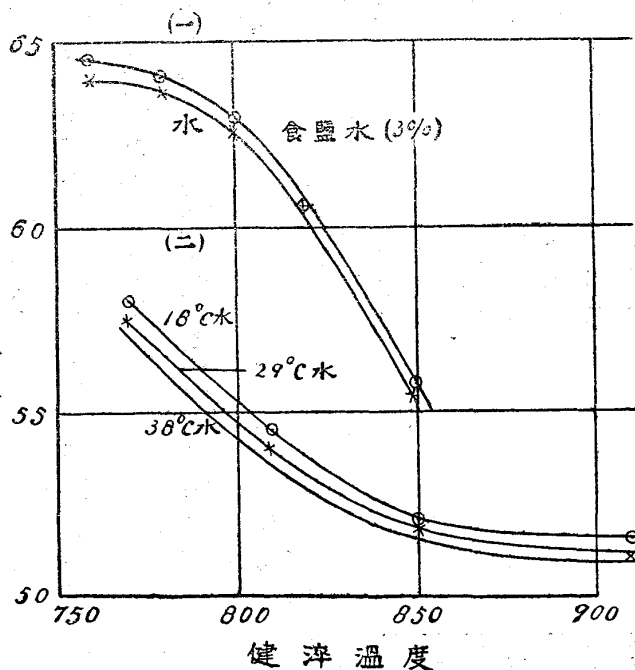
一般に健淬後の硬度は健淬液の種類によりて大に異なるが故に健淬效果の大小を比較するは極めて重要な問題なり。

水と油との如く其の冷却效果著しく相違するものは極めて明瞭にブリネル又はショアー硬度計を以て比較するを得れども水と鹽類又は酸類の水溶液、水と石鹼水、水の温度の異なる場合等に於ては充分其の効果の大小を判定すること困難なり。

然れども磁氣的硬度を用ふれば極めて正確に硬度の差を知ることを得、即ち一本の鋼棒より多數の試料を切りとり同時に二個宛相並べて加熱爐内に入れ所要の温度に達せしめたる後比較せんとする二液に一つづつ投じて健淬するなり、此の際二本の試料は引き續き健淬さるゝを以て、加熱時間の相違は無きものと見るを得べく即ち全く同一状態より二液に健淬されたるものと看做し得るなり。

左に其の結果の二三を示すべし。

第四圖



(一) 水と同温度の食鹽水(三%)との比較(一・二%炭素鋼)

健淬溫度

磁氣的硬度

水 三%食鹽水

七六〇	六四、〇	六四、五
七八〇	六三、七	六四、一
八〇〇	六二、七	六三、〇
八二〇	六〇、五	六〇、五
八五〇	五五、四	五五、七

(二) 水の温度差による健淬能の比較(〇・八五%炭素鋼)

健淬溫度

磁氣的硬度

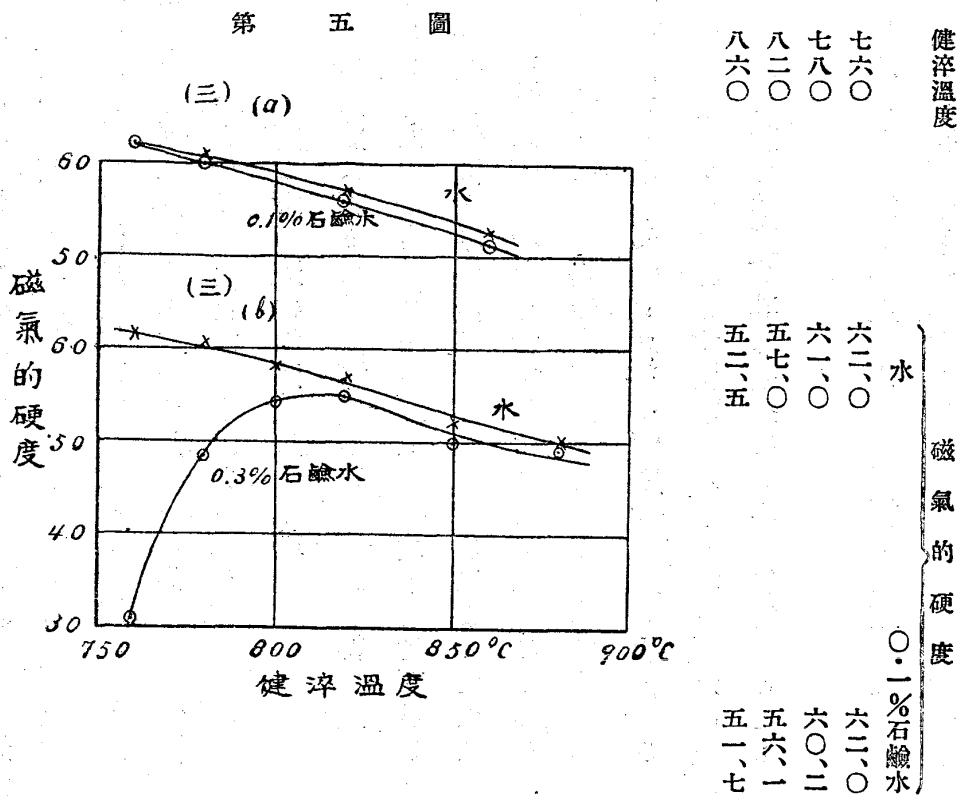
一八度 二九度 三八度

七七〇	五八、〇	五七、五	五七、〇
八一〇	五四、五	五四、一	五三、五
八五〇	五二、二	五二、〇	五一、七
九一〇	五一、六	五一、一	五一、〇

是によつて水に食鹽を加ふれば健淬效果を増加することを
知る又之を水の温度差による健淬能の變化と對照すれば三%
の食鹽を加ふることは水の温度を十度低くしたることに相當
するを知る。

(三) 水と同温度の石鹼水との比較(○・九%炭素鋼)

(a) ○・一%石鹼水を用ひたる場合



七六〇
七八〇
八二〇
八六〇

六二〇
六一〇
五七〇
五二、五

六二〇
六一〇
五六一
五一、七

(b) ○・三%石鹼水を用ひたる場合

健淬温度

磁氣的硬度

水

○・三%石鹼水

七六〇
七八〇
八〇〇
八二〇
八五〇
八八〇

六三〇
六〇、九
五八、〇
五七、〇
五二、三
五〇、三

三一、〇
四八、五
五四、〇
五五、〇
五〇、〇
四九、〇

此の結果より石鹼水は水よりも健淬效果小なること及び石
鹼の影響は稍大なることを知る。

(四) 水と鯨油との比較(一・二%炭素鋼)

健淬温度

磁氣的硬度

水

油

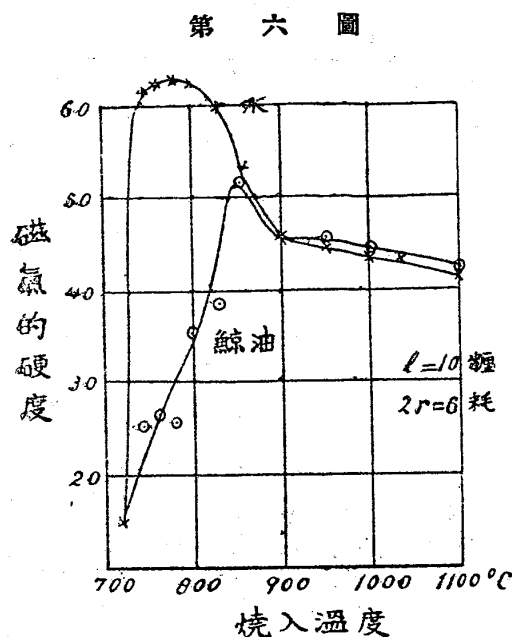
七二〇
七四五
七六〇
七八〇
八〇〇
八三〇
八六〇
九〇〇
九五〇
一〇〇〇
一〇三五
一一〇〇

一六、七
六一、二
六二、三
六二、三
六二、五
五九、五
五三、〇
四五、四
四五、五
四四、五
四三、七
四一、三

二五、四
二六、一
二五、九
三五、六
三八、五
五一、八
四五、五
四五、一
四四、〇
四三、九
四二、二

本實驗を特に高温まで行へるは高温健淬に於てオース
テナイトの残存するを確めんが爲なり。其の結果は右表及び
第六圖に示すが如し。

五十度以下)に於ては著しく相違す、即ち硬化は油にては不
充分なり。健淬温度八百度を越えて上昇するに従ひ水の場合
の硬化は油の場合に比して著しく減少するが故に兩者相接近
し八百五十度乃至九百度の間に於て等しくなり、其れ以上の
高温度に於ては油の方却つて健淬效果大となる。本實驗に於
ては六耗の直径を有する一・二二%の炭素鋼を用ひたり。之れ
によつて六耗以上の太さを有する炭素鋼は九百度以下の温度
より油の健淬によりては十分硬化せざるを知る。磁氣硬度が
九百度にて著しく減少するは前述せる如く急冷によつてオー
ステナイトが常温に於て殘存するによる。又九百度以上に於
て油の方の磁氣的硬度の大なるは其の冷却速度水の場合よりも
小なる爲め殘存オーステナイトの量少きによる、此の著し



之によれば水と油との健淬效果は變態點に近き温度(八百

き例は第四章合金鋼の場合に之を見るを得べし。一般に合金
鋼に於ては磁氣的硬度は油中健淬の方が水中健淬のものより
も著しく大なり。

次に油にて反復健淬を行ひたる場合の效果を見んが爲め前
記水と油との比較に用ひたる試料の内八百五十度以下にて油
中健淬を行ひたるものを取り更に前と同一温度にて油中健淬
を行ひたるに何れも第二回健淬によりて頑磁力六二乃至六二
・五ガウスを示し充分硬化せるを見たり。斯くして硬化したる
値は更に第三回の健淬によりては殆んど變化なく磁氣的硬度
對健淬温度の曲線は殆んど水中健淬の場合と相一致す。

更に此の現象が健淬温度に保つ時間によりて變化するや否
やを見るため直径六耗を有する一・二七%の炭素鋼を以て新
に十本の試料を作りて次の如く實驗せり。先づ上記試料十本
を同一爐内に並置して健淬温度七百八十五度まで加熱したる
上此の温度に保ちつゝ五分乃至二十分毎に一本づゝ健淬して
磁氣的硬度を測定せり。次に反復健淬を行ふため此の十本の
試料に再び同様の熱鍊法を施して其の磁氣的硬度を測定した
り。其の結果は次表の如し。

試料	第一回 健 淬		第二回 健 淬	
	保 存 時 間	磁 氣 的 硬 度	保 存 時 間	磁 氣 的 硬 度
一	五	二六、〇	五	五六、二
二	二〇	二六、〇	四〇	四四、五
三	三〇	二五、二	九〇	四八、三
四	四〇	二五、〇	一〇五	五一、五
五	五〇	二四、二	五〇	五三、〇

六	六〇	二四、二	一三	五九、五
七	八〇	二四、〇	一二〇	五二、〇
八	一〇〇	六〇、〇	八〇	二五、二
九	一〇〇	二三、六	六〇	五六、七
一〇	一二〇	二四、〇	二〇	五六、七

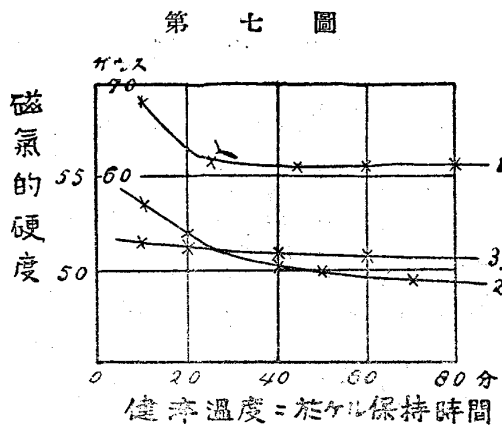
試料八は特に最初水中健淬し後に油中冷却せるものなり。

此れによつて油を健淬液とする場合に關して次の事實を知る

- 一、第一回の健淬に於ては何れも硬化不充分なるに反し第二回の健淬に於ては硬化の度を増し殆ど完全に硬化す。
- 二、第一回健淬に於ても第二回健淬に於ても健淬温度に保つ時間は二時間以内にては此の現象に殆ど影響せず。

第三章 結晶粒の發達及び歪の消去

變態點以上の高温度に於て鋼が以前より有せる歪の消去及



び結晶粒の發達の狀況を知らんが爲に同一試料數本を同時に一つの電氣抵抗爐に入れ一定温度に保ち順次一定時間を隔て、之を健淬して其の磁氣的硬度が保持時間と共に如何に變ずるかを試験せり第七圖は其の結果を示す。

曲線一は磁石鋼に就きての結果にして曲線二は〇・九%の炭素鋼の結果なり。試料は

何れも一本のロール壓延材より取れるものにて其の均一度は磁力線分布試験によりて確めたる上採用せり、磁石鋼は八百六十度を健淬温度とし炭素鋼は七百六十度を健淬温度としたれ共何れも其の附近三度の差は免れ難し。

實驗の結果によれば保存時間長き程磁氣的硬度は次第に減少す即ち兩曲線共最初の約三十分間は減少率大にして以後は少なり。曲線三は同一炭素鋼に就きて焼鈍の影響を見るために行ひたる實驗の結果にして曲線二の實驗に際し同時に同一試料十本を同一爐内に入れて加熱し七百六十度に保ち乍ら六本を以て前記二の試験を行ひ殘る四本を其の儘爐内にて冷却して焼鈍したる上再び七百六十度に加熱し保持時間を變じて健淬せるものなり。此の曲線は前記二曲線と異りて初めより徐々に其の硬度を減ずるのみなり。是れによりて見るに初め三十分間の減少は試料が受けたる機械的歪の弛むための結果にして其の後の減少は結晶粒發達の結果ならざるべからず。

曲線三は曲線二の延長線となるべく豫想したれども實驗は之よりは約四%大なる値を與へたり。其の原因を探究するため同様の實驗を數回繰返して行へるに或る場合には幾分高く又或る場合には幾分低し而して高き場合は健淬温度が其の鋼材の健淬温度對磁氣的硬度の曲線に於て幾分硬度高き方に狂ひたること又は水の温度の幾分低きに原因するが如し。

高炭素鋼の磁氣的硬度對健淬温度の曲線が八百度以上にて急減するは主としてオーステナイトの殘留するに基因するこ

とは既に述べたり。以上の結果より考ふるときは歪の消去及び結晶粒の發達も亦多少の影響を及ぼすを知る。

第六圖に於て千百度より健淬せるもの、磁氣的硬度が比較的小なる値を有するは實驗誤差に非ずして過熱(Over heating)の結果と見るを得、之を確めんが爲に次の如き實驗を行ひたり。即ち第六圖の場合に用ひたると同一試料數本をとり之を千百度、千五十度、千度、九百五十度、九百度の各温度に三十分間保ちたる後空氣中に放置し更に之を八百度に加熱して普通の如く水中に健淬せり。其の磁氣的硬度は次表に示すが如し。

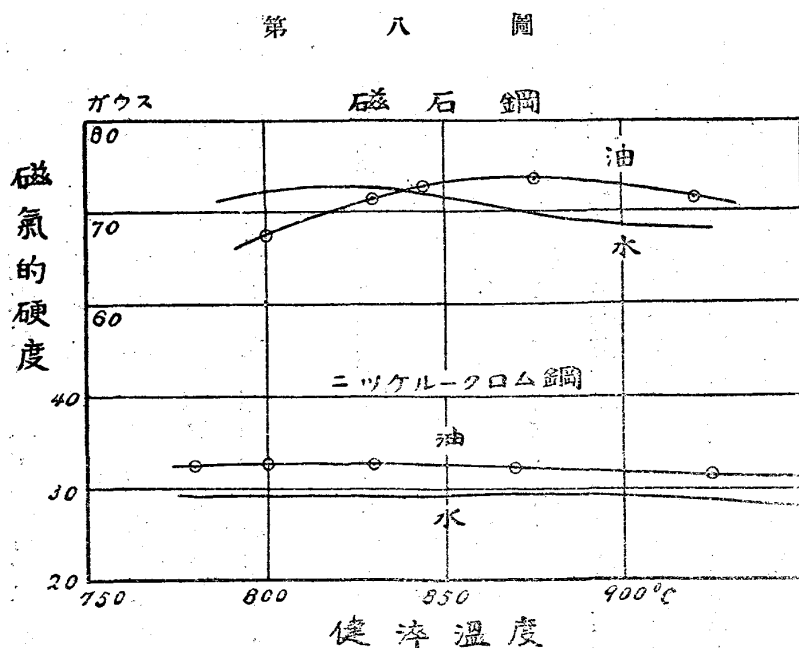
加熱温度	八百度水中健淬後の磁氣的硬度
一一〇〇	四八、五
一〇五〇	五五、二
一〇〇〇	六二、〇
九五〇	六二、五
九〇〇	六二、三

又同一試料數本を同時に千百度に加熱し時間を置きて健淬したるに磁氣的硬度は保持時間と共に減少するを見たり。

是によりて所謂過熱効果は千度以上の温度に於ては、温度高き程又時間長き程大なるを知る。又千度以下に加熱せる者は之を空氣中に放置して變態點以下まで冷却せしめたる後再び之を熱して前加熱温度より低温度の健淬を行へば前加熱温度の影響の顯はれざるを知る。此の結果は實用上極めて重要なり。次に同一試料數本をとり一旦之を九百五十度に熱した

る後爐内に於て靜に冷却する途中九百度、八百五十度、八百度等にて健淬したるもの、磁氣的硬度は九百五十度より直に健淬したるものと全く同一なるを確めたり。是によりて或る種の鋼を健淬するに當りては健淬温度を適當に選み其の温度にて加熱すれば變態が三百五十度以下迄降下する限りは極めて急速に水中に投ずるを要せず、即ち試料が變態を起す前に於て水中に健淬すれば足るなり。従つて健淬作業は餘り急ぎて行ふを要せず。

第四章 合金鋼の磁氣的硬度



以上は主と

して炭素鋼に就て論じたれども、特殊の元素を含有する合金鋼に於ては變態速度は著しく小なる故冷却速度大なるときはオーステナイトよりマルテンサイトへの變化は著しく

阻止せられ一部分又は大部分はオーステナイトの儘常溫に達す。故に其の磁氣的硬度は水中健淬の方が却つて、油中健淬のものより小なる結果となる、第八圖は其の例を示す。

上部にある二曲線はタンゲステン磁石鋼(〇・七%炭素、六・四%タンゲステン)に屬し下部の二曲線はニッケルクロム鋼(〇・三%炭素、二・五%ニッケル、一・〇%クロム)に屬す即ちニッケルクロム鋼に於ては油中健淬の方常に頑磁力強く又高溫度に於ては磁石鋼に就ても同様なり。

一般に合金鋼は其の種類多く又其の特質を異にするが故に單に磁氣的硬度のみによりて健淬溫度を決定するは困難なり

結論

以上の結果を總括すれば次の如し。

一、炭素鋼の調質に最も適當なる健淬溫度は磁氣的硬度對健淬溫度の曲線の最大點によりて定むるを得。

二、〇・八%以上の炭素鋼は健淬溫度高きときはオーステナイトの幾分を含みて常溫に達す此の量は主として最高溫度と其れに保つ時間とに支配せられ冷却速度の影響を受くること少し。特殊元素を相當に含有する合金鋼は冷

却速度の影響稍大なり。一・〇%以上の炭素は磁氣的硬度に對しては却つて有害なり。

三、水に食鹽を加ふれば其の健淬効果を増す又水の溫度を低下せしむるも同様の効果あり。

四、水に石鹼を加ふれば健淬効果を減少す其の影響稍大なり。

五、反復油中健淬は健淬効果を増大す、且つ此の効果は健淬溫度に保持する時間に影響せられず。

六、鋼を變態點以上の溫度に於て保持すれば前に受けたる歪を消失し又結晶粒の發達を起す。

七、過熱の効果は千度以上にて顯はれ溫度高き程又時間長き程著し。千度以下の溫度に熱したる鋼を空氣中に放冷して後再び前より低き溫度まで加熱を行ひ健淬する時は其の磁氣的硬度は第一回の加熱の影響を被らず。

八、一度所要の健淬溫度に熱したる鋼の硬度は之を其溫度よりも低き溫度に冷却したる後健淬するも變態點を通過せざる間は最初の溫度より直に健淬せると同一結果となる。

(終り)

電氣製鋼法と其技術者養成に就て

野上 熊二

謹呈、各位益々御健勝の段奉慶祝候。

陳者拙者儀曾て社命に従ひ再度歐米に渡航中最近極めて急