に當り空氣は遮斷せられてゐるとは雖も尙多少の浸入は免れないので、この空氣の影響によつて試料の成分は FeO から Fe_3O_4 へと進行し、この爲に重量の増加を生ずるのであり、従て重量の増加はスケール中の FeO が Fe_3O_4 への進行程度を表はすものと見做す事が出来る。工場の加熱作業は 1300° 前後にて行はるゝ場合多きが故に 1300° に於ける増加率を外挿法によつて求め併せて Fig. 17 に點線で示した。この Fig. 17 の曲線を數量的に表はせば Table 10 となる。

Table 10 Increased ratio of Weight, Heating Temperature and time ($\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$).

Temp.	900	1000	1100	1200	1300
Increase ratio (%)					
0.35	90	16	8	4	2
0.65		90	20	9.5	4.5
1.15			90	2.5	11.5
2.40				90	36

これに依つて温度の上昇が FeO より Fe_3O_4 への進行を著しく急速にする事が知られよう。實作業の場合はこの進行に伴つて FeO

Fig. 18 Heating time and Temperature.

の發生も亦急激であるから鋼材の加熱は過熱を避くる事が最も重要である。前表を圖示すれば Fig. 18 となり加熱時間の延長よりも加熱温度の過昇が如何に不利益であるかを知る事が出来る。

結 論

1. 混合法に依り各温度に於けるスケールの含有熱

量並に比熱を測定し、これより計算によつて FeO 及び Fe_3O_4 の高温に於ける比熱を求めた。

2. スケールの成分

FeO.....	27.53~55.37 %
Fe_3O_4	39.88~68.32 %
金屬鐵.....	0.19~0.55 %
不純物.....	3.22~4.36 %

なるものゝ平均比重は 5.275, 又眞比重は 5.303 で軟化温度の一つとして 1356° を得た。

3. 温度の上昇と共に FeO より酸化は促進せられその割合は温度と共に益々大となる。

4. 平均比熱は加熱時間の延長と共に増加し、又加熱温度に従つて増加する。

5. スケールの含有熱量並に比熱よりして Fe_3O_4 の Curie point として 590° を得た。

6. スケールの含有熱量よりして代數學的計算法に依り $100 \sim 1100^\circ$ 迄の FeO 及び Fe_3O_4 の比熱並に含有熱量又従つて眞比熱を求めた。

7. 眞比熱對温度の關係よりして 1g のマグネタイト Fe_3O_4 が加熱に際しその Curie point に於て磁氣を失ふ迄には約 15.84 カロリーを要し、純鐵の A_2 變態熱量の約 4.33 倍に當る。

8. $100 \sim 1100^\circ$ の間に於ては平均比熱は FeO が常に大である。眞比熱は Fe_3O_4 の磁氣變態の範圍を除いては一般に FeO の場合よりも小である。併し乍ら Fe_3O_4 の眞比熱は温度と共に順次その値を増加し 1100° 附近に於ては FeO の眞比熱を凌駕するに到る。

9. 實驗前後の重量の變化よりして $\text{FeO} \rightarrow \text{Fe}_3\text{O}_4$ への進行は加熱時間と共に進み、又加熱温度の上昇に従つてその程度は増大することを知つた。

10. スケール發生の速度は加熱時間の延長よりも温度の上昇に依つて著しく増大する。

焼入線圖のブラウン管に依る測定*

石 原 康 正**

Yasumasa Isihara: The New Method for Obtaining the Quenching Diagram by the Braun Tube. In order to obtain the quenching diagram using the braun tube, the author has devised a new apparatus which electrically amplifies the elongation of a test piece and its temperature at the quenching. In the previous apparatus for the purpose of taking the quenching diagram, as Sato's method, the coordinate axis of the diagram was obtained as follows: i. e. the elongation of the test piece was magnified mechanically, but on the abscissa, the

** 東北帝國大學工學部機械工學科

* この研究は昭和 16 年 4 月本學會第 9 回東京大會で講演した。

elongation of the neutral piece was used as the temperature scale. However, we can not obtain the true temperature by such a method, as the neutral piece does not absorb or generate any heat of transformation.

The other apparatus was improved by P. Dickens and G. Thanheisen, using no neutral piece. By their apparatus, the electrical changes caused by both the elongation and the thermo electricity of the test piece, were led to two coils which were equipped to rotate around each axis in a magnetic field. The axes of those coils were arranged to perpendicular to each other and the light beam reflected by two mirrors which were attached on the axes of these coils, describes quenching or cooling diagrams on a plate glass. By this apparatus, the period of natural frequency of mechanical part is 0.1 sec., and it is not suitable to observe so rapid change as the water quenching.

Author magnified these electrical changes caused by the elongation and the temperature changes by means of the the amplifier, and then brought them on the vertical and horizontal deflection plates of the braun tube respectively. By these method, the unsuitable inertia effects were completely eliminated.

The dimension of the test piece was 5 mm in diameter and 70 mm in length. On the ordinate, the elongation of the test piece was mechanically magnified in 40 times and the electric resistance was changed by it, and the change of the voltage caused by this resistance change was amplified by the 2 stage direct-couple amplifier. While on the abscissa the thermo-electricity generated by a fine Pt Pt-Rh couple, which was inserted in the small hole at the central part of the test piece, was amplified by the 3 stage amplifier of the same type. Also temperature-time and the elongation-time curves were simultaneously obtained by the electromagnetic oscillograph. By this apparatus we obtained the quenching diagrams of the various carbon steels quenched into several media as air, oil and water.

(Received April 10, 1941)

I. 緒 言

焼入に際し試片の伸と温度との関係を測定することは種々な點に於て重要な意義を持つにも拘らず未だ完全なる焼入自記装置はない。本實驗は試片の伸と温度を電氣的に擴大しブラウン管上に焼入線圖を直視し得る如くしたものである。尙同時に電磁オッシログラフを用ひ伸及び温度の時間に對する曲線も併せて求めてある。

現在一般に用ひられて居る佐藤式焼入試験器⁽¹⁾伸軸に於ては試片の伸を機械的に擴大して居るが、温度軸に對してはニウトラルとして試片となるべく同一の物理的諸性質を有し變態を有せざる同一寸法の金屬の伸を同様な方法で擴大したものである。かくのニウトラルを用ひて温度を測定する時には變態熱の發生又は吸収がないから試片そのものの眞の温度とは異つた温度を示すことになる。實際に高炭素鋼の空冷の場合を觀察すれば變態に際し試片は所謂再輝現象を呈するにも拘らずニウトラルは次第に冷却し兩者の著しき差異を識別する事が出来る。これが即ちその證據である。

他の焼入試験器⁽²⁾に於てはニウトラルに依る温度誤差を除く爲に直接一本の試片の伸と温度を電氣的に取出す方法を用ひて居る。即ち試片の伸を電氣的變化に變換すると同時に試片の内部に挿入せる熱電對の熱起電力を各々磁場の中に有り軸の廻りを廻轉出来る Coil に導く。この二つの Coil の軸は互に直角に置かれて居るから軸について居る鏡は Coil に通る電流によつて光線を互に

直角な方向に廻轉する故にこの二つの鏡を通つて來た光線は二つの Coil の合成の方向にその像を結ぶことになる。この裝置の缺點は電氣的變化を一時機械的 Torque に變換したる後光點の振れに直す爲これ等機械的部分の固有振動數が十分高くない時には水焼入の如き速い變化を測定することは出来ない。

II. 實 驗 装 置

試験片は Fig. 1 の如き直徑 5mm 長さ 70mm の丸棒を用ひた。伸軸としては試片の伸を機械的に 40 倍に

Fig. 1 Test Piece.

擴大し電氣抵抗を變化させそれに生ずる電壓の變化を増幅しブラウン管の縦軸に與へた。一方温度軸は圖に示す如く試片の中心に小穴を穿ち直徑 0.1mm の白金熱電對を挿入しこれに生ずる熱起電力を増幅しブラウン管の横軸に與へたものである。かくの如くしてブラウン管上に描かせた焼入線圖をフィルムに撮影したがそれと同時に電磁オッシログラフを用ひ伸及び温度の時間に對する曲線を求め精密なる測定を行つた。

Fig. 2 は試験器の説明圖である。焼入すべき試験片 TP の支持の方法は試片の左端は透明石英製なる試片保持具 Q により支へ右端は Q の内部を通した P なる石英製管と摺合せによつて支へる。P なる内管は試片の伸を横杆 L₁ に傳へると同時に試片の右端に挿入してある細い熱電對の保護管の役目を兼ねて居る。試片は太い石

(1) 佐藤, 金屬の研究, 9 (1932), 174.

(2) P. Dickens, G. Thankeiser, Mitt. K-W-I Eisenforsch., 20 (1938), 35.

英管Sの内部に挿入されSを真空にすることに依り測定器全體も真空に出来る。横杆 L_1 は更に横杆 L_2 を動かし試片の伸は機械的に40倍に擴大される。 L_2 の先端の白金線は固定された捲線抵抗 R の上を摺動し伸を電気抵抗の變化に變換する。

Fig. 2 Schematic Diagram of this Apparatus.

Fig. 3 は増幅器の結線圖であつて上部が温度軸、下部が時間軸用のものである。温度は J なる熱電對に發生せる熱起電力をUY 6301—UY 6301—UY 76 より成る

Fig. 3 Electrical Circuit of Amplifier.

直接結合方式の三段増幅器により擴大する。伸は機械的に擴大された後 R なる抵抗の變化に變換され、それに生ずる電位差の變化をUY 6301—UY 76 より成る同様の二段増幅器に依り擴大する。熱電對の抵抗は温度によりその値を變化する、このため温度測定は誤差を生ずる。この誤差を極力防止するため温度軸増幅器には普通用ひられて居る如きグリッドに挿入する感度調整用抵抗を用ひずブラウン管の陽極電圧 E_B の値によりその感度が異なる事を利用しブラウン管の陽極電源用整流管HX 966 Bの陽極電圧を1,000乃至4,000 Vに變化せしめて温度軸増幅器の感度調整を行つた。伸軸の感度調整には抵抗 R_8 を變化せしめて R を流れる電流を加減し行つた。

R_4, R_5 はブラウン管の輝點位置調整用抵抗である。 D_1, D_2 は電磁オシログラフのD型振動子で R_6, R_7 の抵抗によりその感度を調整する。

Tは定電壓整流裝置で電池の代用をなし300 Vの出力を有する。又交流電源電壓の變動を防止するため電壓調整器により全裝置は80乃至120 Vの範圍の變動に對し安定性を與へた。Fig. 4, 5は増幅器の檢定曲線であつて伸は試片の長さの -0.4% 乃至 $+1.2\%$ の範圍又温度は 950° まで大體直線的に増幅されることが知られる。

Fig. 4 Calibration Curve for Elongation.

Fig. 5 Calibration Curve for Temperature.

III. 實驗結果

(a) 焼入曲線

Fig. 6 はアームコ鐵を A_1 點直下に加熱したる後その温度より空冷、油冷及び水冷を行つた際得られた曲線で

Fig. 6 Quenching Diagrams of Armco Iron which cooled from below A_1 Point.

ある。空冷及び油冷の場合に於ては加熱及び冷却兩曲線は殆んど一致して居るが水冷に於ては伸に對し温度が遅れる事が知られる。この理由は伸は試片全體の平均を示すに反し温度は中心位置で測定する爲平均温度より遅れ

て冷却するからである。従つてこの遅れに対しては試片の表面より中心までの熱傳導及び熱電對と熱電對を挿入せる穴の表面との熱傳導が重要な問題になる。實際に試片の直徑を次第に細くして行くとこの伸に對する温度の遅れが反つて増大する所から後者の熱傳導の方が前者より大きな影響を及ぼすものと考へられる。

本報告に於ては焼入装置は眞空にせず使用した。即ち低炭素鋼に於ては約 $1,100^{\circ}$ 高炭素鋼に於ては $1,000^{\circ}$ に豫熱せるエレマ爐に試片を挿入し所要温度になるを待ち直ちに石英管 S より取出し焼入を行つた。加熱に要した時間は 1 分 30 秒乃至 2 分程度である。

種々の炭素量の鋼につき空冷、油冷及び水冷を行つた場合の焼入線圖が Fig. 7 である。加熱曲線に於て變態が始まると變態熱を吸収し試片の温度は一時下らんとする傾向が有る。炭素量の増加と共にこの影響は大となり變態に依り温度は一時變態前より低くなる。

Fig. 7 Quenching Diagrams of Various Carbon Steels taken by Authors' method at three cooling conditions.

空冷の際には逆に變態熱を發生し變態に際し試片の温度は上昇せんとする。特に高炭素鋼に於て著しく變態の開始に依り試片の温度は上昇し再輝現象を呈して居る事が知られる。

油冷には 5° 乃至 10° に保つた白絞油を用ひ試験中は試片にて充分油を攪拌し全體一樣に焼が入る様注意した。0.3% 鋼までは焼が入らず、0.5~0.9% 鋼までは麻留田、過共折鋼では吐粒粗が生じたことが知られる。

水冷は 0° の氷水中で行つたが前述の如く伸に對する温度の遅れがある、その爲 Ar'' 點の温度は $400\sim 600^{\circ}$ と云ふ高い温度として求められた。Fig. 7 中の加熱曲線のビビレは電源電壓の變動に依るものである。

(b) 伸一時間、温度一時間曲線

上記の焼入曲線を撮影すると同時に電磁オシログラフを用ひ温度及び伸の時間に對する曲線も併せ求めた。

Fig. 8 は種々の炭素量の試片を空冷して得た曲線で參考の爲左側に焼入曲線を再掲した。電磁オシログラフで求めた伸一時間、温度一時間曲線の時間軸は右から左へ向つてゐるのであるからそれらの圖では右側は加熱左側は冷却曲線である。Timing は各點 2 秒で加熱には 1 分半乃至 2 分を要したことが知られる。加熱曲線の

Fig. 8 Heating and Cooling Curves of various Carbon Steels of air Cooling taken by the electromagnetic Oscillograph (right) and their Quenching Diagrams (left).

始めに温度の急激な變化が有るがこれは試片の保持具中に残留して居た水が沸騰し熱電對に附着したためである。又冷却の終りの温度の急激な變化はオシログラフ

のフィルムが終りに近づいた時水中に試片を投入し試片の始めの温度と測定後の温度を等しくし試験中に生じた試験機の變動を求めたもので兩者共焼入には無関係である。圖より知れる如く Ac_1 變態による温度低下は加熱速度が大であつた爲餘り著しく表はれて居ないが Ar_3 變態に際し生じた温度上昇は著しく表はれて居る。又この温度上昇は炭素量の増加と共に増し 0.9% 鋼にて最大になつて居ることが知られる。

Fig. 9 は油冷の際に得られた曲線である。この圖より大洲田としての冷却に要する時間即ち Ar'' 點にまで降

Fig. 9 Cooling Curves of various Carbon Steels of Oil Quench taken by the electromagnetic Oscillograph (right) and their Quenching Diagrams (left).

下するに要する時間は比較的短いのに反し Ar'' 變態以後の麻留田化には長時間を要することが知られる。又その爲 Ar'' 變態に於ける變態熱の影響は曲線上に餘り現はれて居ない。過共折鋼に於ける Ar' 變態は非常に短時間内に完了する事が知られる。Timing は空冷の場合と同様 2 秒である。

Fig. 10 は 0° の氷水中に焼入れた場合の冷却曲線である。Timing は 1/10 秒である。

Fig. 10 Cooling Curves of various Carbon Steels of Water Quench taken by the electromagnetic Oscillograph (right) and their Quenching Diagrams (left).

IV. 焼入線圖の理論的考察

今共折鋼を加熱する場合を考へる。變態は A_1 の温度に達して直ちに開始するものでなく A_1 より過熱された状態 A_{c1} に至つて始めて波來土より大洲田への分解を開始する。この過熱の割合は加熱速度に依り變化し加熱速度が大きい程過熱せられる。Fig. 11 A で A 點に至り單

Fig. 11 Explaining Dilatation Diagrams of A_1 Transformation.

に波來土が大洲田に變化するだけならば長さは伸軸に平行に垂直に收縮をなし B 點に來る筈である。この收縮量は炭素量に依り變化するものである。(2) 一方 A_{c1} 變態は吸熱反應であるからその變態熱に相當した温度 $\overline{BC}$ だけ變態後の温度は低くなる。ところが C 點の温度は B 點の温度より $\overline{BC}$ だけ低いのであるから試片の長さは D 點の如く B を通る大洲田の收縮線上になければならない。一方變態中にも試片は絶えず外部より熱を吸収するから試片の温度は常に上昇し加熱速度が一定ならばこのために變態中の温度上昇は變態時間に比例し圖では $\overline{BE}$ の如くなる。同時に $\overline{BE}$ なる温度に相當しただけ膨張し H なる状態に來る。即ち

- (1) 波來土より大洲田への變化のための收縮 $\overline{AB}$
- (2) 變態熱 Q_L の吸収の爲の温度低下 $\overline{BC}$
- (3) この温度低下に依る生成大洲田の收縮 $\overline{CD}$
- (4) 變態中外部より供給せる熱量 Q_a に相當する温度上昇 $\overline{BE}$
- (5) この温度上昇のための膨張 $\overline{EH}$

以上五つの合成結果として A なる波來土は G なる大洲田に變態する。即ち熱の側より考ふれば變態熱 CB と供給熱 $\overline{BE}$ の和として $\overline{BF}$ なる温度變化を生じ、長さの側より考ふれば變態の爲の收縮 $\overline{AB}$ と變態に依る温度低下の爲の收縮 $\overline{CD}$ 及び供給熱に依る温度上昇の爲の膨張 $\overline{EH}$ の和として $\overline{FG}$ なる長さの變化を生ずる。故に $\overline{BF}$ と $\overline{FG}$ の合成として變態後の状態 G が求められる。

今波來土の比熱を C_p 大洲田の比熱 C_A をとすれば變態中の熱平衡は次式で表はされる。

$$Q_L - Q_a = C_p A_{c1} - C_A A_{c3}$$

此處に A_{c1} , A_{c3} はそれぞれ變態の初めと終りの温度を表はすものとする。 C_p と C_A は大體等しい値を有する⁽³⁾

(3) H. Esser, W. Bangardt, Arch. Eisenhüttenwes., 17 (1934), 533.

からその平均値を c とする。又一方外部より供給される熱量 Q_a は加熱速度を V_c , 變態に要した時間を t_c とすれば $Q_a = c V_c t_c$ で與へられる。

故に

$$Q_L - c V_c t_c = C (A_{c1} - A_{c3})$$

變態熱 Q_L は波來土より大洲田への内部状態の變化に要する熱量であるからその途中の状態及び冷却速度には無関係で只材質のみに依り定まつた値を有する。又變態に要する時間 t_c は過熱度に關係し、過熱度は加熱速度に依り定まるから結局所要時間 t_c は加熱速度 V_c の函数となる。故に上式は加熱速度のみに關係する。Fig. 11 A で説明するならば D 點は材質に依り定まつた定點で H のみが加熱速度に依り DB 線上を變化する。従つてその合成たる G は加熱速度により定まることになる。

Case 1 $Q_a > Q_L$ 即ち $A_{c3} > A_{c1}$ なる場合。この場合には變態中に外部より供給せる熱量の方が變態熱より大なる爲試片の温度は變態後の方が高くなる。依つて試片は常に温度上昇をなし Fig. 12 Case 1 の如くなる。

Case 2 $Q_L > Q_a$ 即ち $A_{c1} > A_{c3}$ なる場合。この場合は Case 1 とは反對に變態熱量の方が供給熱量より大なる爲試片の温度は變態に依り下降し Fig. 12 Case 2 の如くなる。

Fig. 12 Probable Case of A_1 Transformation.

Q_L : Latent heat of Transformation.
 Q_a , Q_e : Supplied and radiated heat during Transformation.

A_{c1} , A_{c3} : Beginning and Ending Temperature of A_1 at heating.

A_{r3} , A_{r1} : Beginning and Ending Temperature of A_1 at cooling.

以上の説明は變態は過熱状態で行はれると假定した。即ち變態終了後の温度

A_{c3} も常に A_1 より高いことを假定した。實際の試験結果を見ても

A_{c1} に依る温度降下は小さく上の條件は満足されて居ると見てもよい。

次に共折鋼を冷却する場合につき考へる。冷却の場合も加熱の場合と同様變態後の状態を決定するものは變態熱と變態中外部へ放散する熱量の二つである。即ち Fig. 11 B に於て

(6) 大洲田より波來土への變化のための膨張 $\overline{IJ}$

(7) 變態熱 Q_1 の發生のための温度上昇 $\overline{JK}$

(8) この温度上昇に依る波來土の膨張 $\overline{KL}$

(9) 變態中外部へ放散する熱量 Q_e に依る温度降下 $\overline{JM}$

(10) この温度降下のための收縮 $\overline{MN}$

以上の五つの合成結果として変態後の点 R の状態が決定される。

加熱の際と同様に変態中の熱平衡は次式で與えられる。

$$Q_L - Q_e = C(A_{r1} - A_{r3})$$

此處に A_{r3} , A_{r1} はそれぞれ変態前後の温度を表はすものとする。変態熱 Q_L は前述の如く変態の途及び冷却速度には無関係で材質のみに依る定数である。又冷却速度を V , 変態に要した時間を t_r とすれば変態中試片が外部へ放散する熱量 Q_e は $Q_e = CV_r t_r$ となる。故に Q_e は変態時間 t_r に依り變化し, t_r は過冷度に依り定まり, 更に過冷度は冷却速度に依り定まる。結局放散熱量 Q_e は冷却速度 V_r の函数となり, 従つて上式も冷却速度に依り定まる。斯く考ふれば Fig. 11 B に於て L 點は材質に特有な定點で N 點のみが冷却速度に依り LJ 線上を變化し従つてその合成たる R 點も亦冷却速度のみにより變化することになる。

冷却の場合にも次の二つの Case が考へられる。

Case 3. $Q_e > Q_L$ 即ち $A_{r3} > A_{r1}$ なる場合この場合には変態中に外部へ放散する熱量の方が發生する變態熱より大きく、爲に變態に依り温度は下降し Fig. 12 Case 3 の如くなる。

Case 4 $Q_L > Q_e$ 即ち $A_{r1} > A_{r3}$ なる場合。この場合には變態熱の方が放散熱量より大なる爲變態に依り温度は上昇し Fig. 12 Case 4 の如くなる。再輝現象を呈するのはこの場合である。

以上の説明は變態が過冷の状態で完了すると假定したのであるが、場合によつては試片の温度が Case 4 の如く變態熱の發生の爲上昇し A_1 以上になり平衡状態に達することも考へられる。然れども實際に於て A_{r3} はその過冷度大きく、 $1^\circ\text{C}/\text{sec}$ の冷却速度に於てすら A_{r3} は 682° である。⁽²⁾ 更に冷却速度を増加すれば過冷度も大きくなる。又前記の温度時間曲線より變態中の温度上昇を求むれば空冷に際して温度上昇の最大値が約 30° 程度である。このことより A_{r1} が變態熱のため再加熱せられて平衡状態になることはないと考へてよい。

以上を總括するに變態後の温度を決定するものは變態熱と變態中の外部との熱交換の二つであるが變態熱は材質に特有な値を有するから結局焼入線圖を決定するものは變態速度である。この種々なる値により Fig. 12 の如き四つの Case が與へられることになる。

V. 佐藤式焼入圖との比較

今共折鋼の加熱曲線を佐藤式焼入試験器を用ひて測定する場合を考へる。試片及びニュートラルは同一速度で加熱されるものとする。試片そのものは Ac_1 點に達すれ

ば變態の爲長さの收縮を生ずると同時に變態中に前述の如く變態熱と變態中外部より加へられた熱量の和に相當しただけ温度變化をなす。これに反しニュートラルは變態熱の影響無く常に外部より熱を吸収し變態中にも同一速度で伸びて居る。即ち試片の温度が Case 2 の如く下降する場合にもニュートラルの温度は常に上昇を續けることになる。かくの如きニュートラルを用ひて試片の温度を表せば見掛上の試片の温度は變態に無関係に温度上昇を續け變態後の温度は加熱速度のみに關係し眞の試片の温度より常に高い値を示すことになる。次に冷却曲線につき考へると加熱と逆の關係が成立する。即ち試片は變態熱の發生の爲 Case 4 の如く變態に依りその温度が上昇する場合にもニュートラルは變態に關係無く收縮をなすから見掛上の試片の温度は常に眞の温度より低い値を示すことになる。

Fig. 13 は佐藤式焼入試験器に依つて求めた焼入線圖であつて Fig. 7 で示した著者の實驗裝置で得た焼入線圖と同一材料、同一寸法にて求めたものである。特に Fig. 7 及び Fig. 13 の内から 0.9% 鋼の空冷線圖と 1.1% 鋼の油冷線圖を取出し Fig. 14 に示してある。Fig. 14 a, b は 0.9% 鋼を空冷した場合で前述の理論的相違點が實驗的に證明せられて居る。Fig. 14 c, d は 1.1% 鋼を油冷した際得られたものでこの兩者の差異を比較する。

Fig. 13 Quenching Diagrams of various Carbon Steels taken by Sato's method at three cooling Conditions.

Fig. 14 Comparison of Quenching Diagrams obtained by Sato's and Authors' methods.
b, d: Obtained by Sato's Method.
a, c: Obtained by Authors' Method.

(1) d では變態中の温度範囲が廣いのに反し c では狭いこと。

(2) d では冷却曲線が加熱曲線の左側に來るに反し c では右側のみに存在することの 2 點が擧げられる。(1) の理由としては前述の Case 4 が試片の實際の變態過程

であるのに反し佐藤式では變態熱に依る溫度上昇無く試片は常に冷却する如く見える爲、外觀上變態終了溫度が實際より遙に低い溫度まで續くかの如く表はれる爲である。(2)の相違點も以上と同一理由に依るものであるが A_1' 變態機構に關し從來の説と異つた點を擧げることが出来る。

從來の説明に依れば Fig. 14 d に於て A_1' 點で大洲田より麻留田への變態が開始され従つて試片は膨張をなし、溫度は次第に降り加熱曲線を横切つて加熱曲線の左側にまで来る。これは波來土の比容より大なる麻留田の状態に有ると云ふことを示すものである。斯くして生成せられた麻留田は未だ溫度が高い爲直ちに焼戻されて吐粒粗となり再び長さの減少を開始する。かくの如く A_1' の異状見掛膨張に由り變態機構を大洲田より直接吐粒粗が析出するものでなく、中間状態として麻留田を生ずるものと解釋するならば冷却曲線が加熱曲線の左側に來ることは重要な意義を有する。然るに著者の實驗裝置に依り求めた Fig. 14 c 圖に於てはこの事實は認め難く A_1' の見掛上の異状膨張は單にニウトラルの爲の誤差であ

り眞の線圖とは著しく相違する爲であると云ふ結果を得た。

VI. 結 論

變態熱の發生又は吸収を考慮に入れて溫度軸としてニウトラルを用ひず試片そのものより電氣的操作に依り焼入線圖をブラウン管上に畫かせる焼入試験器を新に考案した。この裝置を用ひ種々なる炭素量の鋼の空冷、油冷及び水冷の焼入曲線を求めた。又焼入線圖を撮影すると同時に電磁オシログラフに依り伸及び溫度の時間に對する曲線を求めた。

空冷及び油冷に對しては眞に近き焼入線圖を求めることに成功したが、水冷の場合には未だ十分な結果を得て居ない。今後更に改良を加へる考へで居る。

本研究は著者、大學院學生として市原教授の終始御懇篤な御指導鞭撻に依つたもので同教授に深甚な謝意を表し、併せて本實驗に熱心な助力を致された稻垣耕司君に深謝する。尙本研究費用は同研究室によつたことを附記する。

高速度鋼の熱處理と切削耐久力に就て (第 2 報)

小 柴 定 雄*

Sadao Koshiba : On the Heat Treatment and Durability for Cutting Power of High Speed Steels (The Second report). In the previous paper the author reported the change of hardness, microstructure and durability for cutting power due to the quenching temperature, holding time, and tempering temperature, etc.. In this experiment, using the same sample of five typical high speed steels as previous report, the following problems are investigated; (1) Effect of repeated temperings on the hardness and durability for cutting power. (2) Change of the durability due to the rise of repeated tempering temperature. (3) Effect of tempering time. (4) Comparison on the changes of durability of each high speed steel due to tempering temperature.

The results of this experiment are as follows: (1) The effect of repeated temperings on the hardness are more and more marked when they are done at lower temperature with larger cobalt, and when the quenching temperature is higher. (2) The max durability for cutting power is obtained by repeated temperings for twice or three times when the moderate quenching and tempering temperature are adopted. (3) At the tempering temperature above 500°, the maximum hardness obtainable by quick tempering at higher temperature is lower than that reached by slow tempering at a lower temperature. (4) As the cobalt content increases, the decomposition of the martensite becomes slower in the tempering with the result that the material can stand against the softening effect of tempering. (5) As the cobalt content increases, the durability becomes higher, and tempering temperature giving the max durability shifts somewhat to the higher side.

(Received April 17, 1941)

I. 緒 論

著者は先に⁽¹⁾ 高速度鋼の焼入溫度、焼入保持時間及び焼戻溫度等による硬度、顯微鏡組織及び切削耐久力の變

化に就て報告したが、本實驗に於ては前報告と同様の 5 種類の代表的な高速度鋼に就て繰返焼戻の影響、繰返焼戻溫度を上昇した場合の耐久力の變化、焼戻時間の影響を求め、更に焼戻溫度の相違による各高速度鋼の切削耐久

* 日立製作所安來工場

(1) 第 1 報, 本誌, 5 (1941), 295.