

焼入硬度曲線の形態* (I)

(昭和19年2月本會及機械學會共催講演會にて講演)

三島 徳七** 三橋 鐵太郎**

ON THE BEHAVIOUR OF HARDNESS-CURVE OF QUENCHED STEELS (I)

Tokushichi Mishima and Tetsutaro Mitsuhashi

Synopsis :

Some experiments of hardness curve of quenched steels (low carbon-for carburizing, medium carbon-for constructional and high carbon steels for tools) are described. It was found that

(1) there are two kinds of hardness curve, i. e. the flat type and the two step type and this two step type appears often in the steels containing much hard-soluble carbide, i. e. Cr-V-, Cr-Mo², Cr-W steel and in the Si-Mn-Cr steel,

(2) Cr-V steel shows the agehardening on the room temperature,

(3) the quantity of residual austenite of Si-Mn-Cr steel is so much showing fair hardening by tempering.

I. 緒言 従來の研究

本研究の直接の動機は無 Ni 鋼材の焼入温度範囲が含 Ni 鋼に比して狭いと云はれている事實の検討にある。以下實驗に直接的關聯のある従來の研究について述べる。

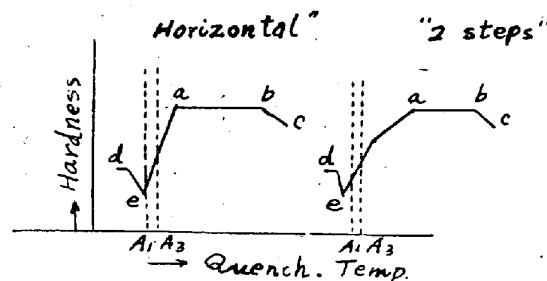
(a) 焼入硬度と焼入温度との關係に関しては村上、三上兩氏¹⁾、O. W. Mc Mullan の研究²⁾がある。

(b) 焼入温度の高い場合に残留オーステナイトが問題となるがこれには Oberhoffer,³⁾ H. Esser と G. Ostermann,⁴⁾ H. Cornelins と H. Esser⁵⁾ の研究がある。

(c) 油冷と水冷。Mc Mullan²⁾によれば試料が大となれば油冷、水冷の場合の硬度曲線の差は大となる。同一試料を油冷水冷した場合に就いては Tungbluth⁶⁾の實驗がある。油冷の場合に水冷の場合よりも、熱應力が少い爲オーステナイトが多量に残留することがある。これについては Mathews,⁷⁾ Mauer, Schröter⁸⁾、本多、岩瀬⁹⁾、Scheil¹⁰⁾、Bain¹¹⁾ の研究がある。又 Kubasta¹²⁾によれば工具鋼では最適油冷温度は最適水冷温度よりも高い。

(d) 焼入硬度曲線の2段型。Pölzger¹³⁾によれば各種高速度鋼はすべて第1圖の如き2段型を示す。Bain²⁵⁾は粗大炭化物を有する鋼は微細パーライトを有するものに比して長時間又はより高温で加熱しなければ

充分焼の入らないことを示した。



第1圖 焼入硬度曲線の二つの型

(e) 硬度計の種類の影響

焼入硬度曲線の形態は使用する硬度計の種類でことなり。殊に炭化物を多量に含有する鋼でこの傾向が大である。Oertel¹⁴⁾はその例をあげている。又 Aall¹⁵⁾はシヨア硬度計を用いて工具鋼の焼入硬度曲線を示しているが、著者の得た曲線と著しく相異している。又 Moser¹⁶⁾はブリネル硬度計を用いて工具鋼の曲線を求めたが、高焼入温度の場合の硬度降下が著しく現はれている。Mc Mullan²⁾は同一工具鋼をシヨア、ブリネル、ヴィッカース硬度計で測っている。

* 一部分を東大綜合試験所年報Ⅱ(昭 18.12 月)Ⅲ(昭 22.9 月)に發表。昭 19 年 2 月。鐵鋼協會機械學會共催「代用鋼座談會」にて發表

** 東大。冶金學教室

(F) 磁気硬度
マルテンサイト量の指標として抗磁力をとり、これを磁気硬度と稱する。これに関しては松下¹⁷⁾氏の論文がある。

試料の成分及び変態点は第1表の如くである。加熱は管状のニクロム線抵抗爐を用い、加熱時間は加熱すべき温度に到達してより何分と測つて行つた。焼入水は水道の水で、油は別項に述べたものである。又別項に述べた如き脱炭状況より推して表面より2mmを削つて硬度を測定した。

II. 実験試料と実験条件

第1表 試料の成分

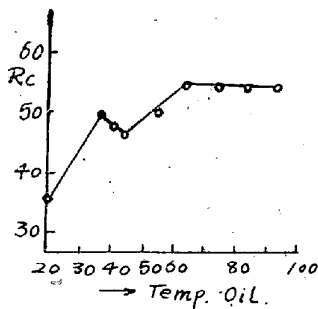
名 稱	成 分							變 態 點				製 造 所	
	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cr%	其他	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁		
A) 肌焼鋼													
C 0.2%	0.20	0.02	0.45	0.018	0.017	—	—	735	854	835	682	スエーデン 大同 特殊製鋼 三菱 大同	
Cr:H51023	0.22	0.27	0.59	0.07	0.05	0.78	—	765	845	785	635		
Cr-Mo: # 8853	0.18	0.36	0.70	0.015	0.014	1.24	Mo=0.21	770	845	780	630		
Ni-Cr:SH-80	0.15	0.35	0.43	0.012	0.009	0.25	Ni=2.95	710	790	635	640		
Si-Mn-Cr:SMC1	0.20	1.03	1.1	—	—	1.06	—	—	—	—	—	—	
B) 構用造鋼													
C 0.4%	0.40	0.24	0.45	0.022	0.026	—	—	730	790	730	690	スエーデン スエーデン	
C 0.5%	0.50	0.26	0.19	0.025	0.034	—	—	730	775	755	690		
Cr:A 3143	0.30	0.28	0.75	0.013	0.006	0.82	Cu=0.14	760	805	—	—	足立	
Cr:H 51027	0.31	0.28	0.69	0.013	0.009	1.2	—	743	782	—	—	大同	
Cr:H51037	0.40	0.34	0.66	0.013	0.012	1.33	—	—	—	—	—	大同	
Cr-Mo: # 8812	0.34	0.31	0.41	0.014	0.014	1.1	Mo=0.22	770	810	—	—	特殊製鋼	
Cr-Mo: # 7	0.36	0.18	0.60	0.008	0.014	1.14	Mo=0.20	—	—	—	—	日本砂鐵	
Cr-Mo: # 9	0.38	0.18	1.00	0.016	0.013	3.09	Mo=0.27	—	—	—	—	日本砂鐵	
Ni-Cr: 1820	0.33	0.27	0.42	0.022	0.009	0.77	Ni=2.4	710	742	—	—	日本火工	
Si-Mn	0.37	0.98	0.8	—	—	—	—	—	—	—	—	小松	
Si-Mn-Cr:SMC2	0.31	0.91	0.99	0.018	0.014	0.89	Cu=0.23	—	—	—	—	大同	
Si-Mn-Cr:SMC3	0.38	1.07	1.03	0.009	0.014	1.00	Ni=0.35	—	—	—	—	大同	
Cr-V: # 5	0.31	0.20	0.76	0.015	0.013	3.04	V=0.23	—	—	—	—	日本砂鐵	
Cr-V: # 8	0.32	0.12	0.53	0.011	0.017	1.91	V=0.22	—	—	—	—	日本砂鐵	
Cr-V: # 4	0.32	—	—	—	—	1.72	V=0.36	—	—	—	—	日本砂鐵	
Cr-V: # 6	0.27	—	—	—	—	4.69	V=0.40 Mo=0.22	—	—	—	—	日本砂鐵	
C) 工具鋼													
高炭素鋼	0.97	0.42	0.56	0.015	0.007	—	Cu=0.12	—	740	700	—	—	足立
"	0.81	0.15	0.37	0.13	0.006	0.82	Cu=0.14	—	740	700	—	—	足立
高C高Cr: A 35163	0.95	0.28	0.47	0.008	0.012	1.25	Cu=0.14	—	—	—	—	—	—

W-Cr	0.89	0.27	0.43	0.017	0.006	0.42	W = 2.01	V = 0.15				
高速度鋼第2種	0.73	0.24	0.20	0.022	0.009	4.72	W = 18.54	V = 1.00	Ac ₁ = 850	Ac ₃ = 910	Ar ₃ = 820	Ar ₁ = 775
" 第3種	0.7	0.23	0.35	0.020	0.020	4.62	W = 18.52	V = 0.98	Co = 4.67			

III. 豫備実験 1. 焼入油

(i) 油の温度

Cr-Mo 鋼 (J8812) の 10×20×20mm 試片を 800°C に 20min 加熱して焼入し、静かに攪拌して油温と焼入硬度との関係を見ると、第2圖の如くなる。この焼入油に於ては 45°C 附近に極小があり、しかも大體の傾向としては高温の方が焼が入り易い。三上¹⁸⁾、松繩、鈴木¹⁹⁾の研究にも油冷硬度に極小のあるのが報ぜられている。C 0.4% スエーデン鋼の同一寸法試片を同じく油冷してみたが、40°C 附近では 30°C 附近よりも硬度が低い。以上の実験に基き、以下の実験では油温はすべて 60°C に統一した。



第2圖 油温と焼入硬度との関係
Cr-Mo (J8812), 10×20×20mm.
焼入温度: 800°C. 加熱: 20min
焼入中静かに攪拌す。

(ii) 焼入油の急冷度 H の測定

使用した焼入油の急冷度 H を Grossmann, Asimow¹⁰⁾ の方法で測定した。試料は Si-Mn-Cr 鋼 (SMC 1) を用いた。C 0.4% 附近の構造用鋼になると、焼が入りすぎて測定に不便な爲に、焼入層の薄い肌焼鋼 (SMC -1) を用いた。20mmφ×60mm, 30mmφ×90mm の試片を 60°C の油に焼入し Rc 48 になる迄の焼入層の厚さを求めて、Du を計算する。

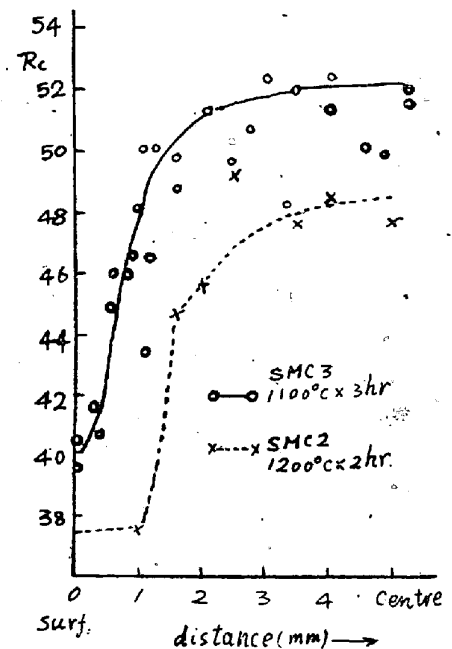
直径 30mm (1.18") の時 Du/D=0.8

" " 20mm (0.79") の時 Du/D=0.1

これにより Grossmann, Asimow の表から H を求めると H=0.85 となり、油の焼入性は普通のものであることが分る。

VI. 豫備実験 2. 脱炭

管状ニクロム線電気爐に於て、蓋の隙間に石棉栓をして加熱した場合の脱炭の程度をしらべた。Si-Mn-Cr 鋼 (SMC 3) の 10×10×100mm の試片で、結果を第3圖に示す。即ち脱炭は 1100°C×3hr 位では 1.2mm, 1200°C×2hr 位で 1.5-2mm であるから普通表面より 2mm を切削すれば脱炭の影響は避けられる。



第3圖 Si-Mn-Cr 鋼の脱炭
10×10×100mm

又、Burns, Archer²⁰⁾ の研究によれば焼入硬度 Rc50 ~60 邊に於ては Rc 10 の差を生ずるのに C 約 0.1% の差を必要とする。C 0.38% の SMC 3 鋼の 800, 1000, 1200°C の各時間加熱後に於ける兩端の脱炭部の C % を分析してみると第2表の如くである。第2表に明かなる如

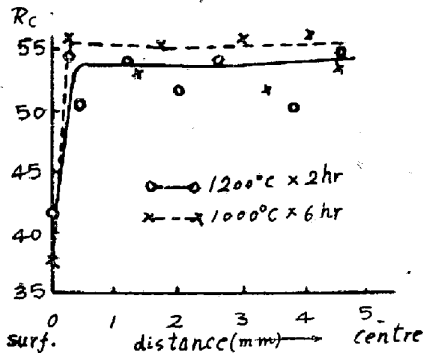
第2表 Si-Mn-Cr 鋼 (10mmφ, C=0.38%) の脱炭部の炭素量

温度 時間	800	1000	1200°C
10 min	0.33	0.39	—
2 hr	0.33	0.29	0.33
6 hr	—	0.26	—

く 800—1200°C と昇温させても 10×10×100mm 試片に於ては 10 分間加熱では殆ど脱炭せず、2hr でかなり脱炭し、6hr では著しい。1000°C×6hr 加熱の場合には C 0.13% の減少があるから、硬度 Rc 10 位の低下があつても良い事になる。

又 Ni-Cr 鋼 (#1820) の 10×10×100mm 試片を管状電気爐で加熱した場合の脱炭状況は第4圖の如くであつたが、上記 Si-Mn-Cr 鋼よりも遙かに少なかつた。これは主として電気爐の密閉状況に左右されるものと考へられる。

Si-Mn-Cr 鋼に於ては 950—1000°C に粒子生長の急激増大領域があり、該區域で時に脱炭が著しいので、兩者の原因が重複して上記の如き 2mm に及ぶ脱炭層を生じたものと思はれる。



第4圖 Ni-Cr 鋼 (#1820) の脱炭 10×10×100mm

V. 肌焼鋼に関する実験

(i) C 0.2% スエーデン鋼

肌焼鋼に関する実験の基礎として C 0.2% 鋼の実験を行つた。同一試料をドイツカース及びロツクウエル硬度の兩者で測つた。(第5圖) 低炭素鋼の例にもれず、焼入硬度に著しい「むら」がある。尙本鋼の結果を他の合金鋼に比較すると、第1圖の a b の長さが著しく短かいことが目立つ。

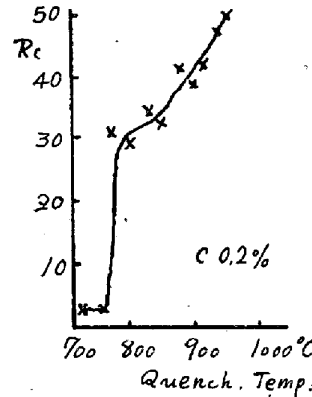
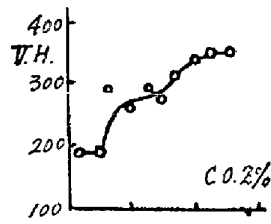
(ii) Cr 肌焼鋼。第6圖の如くに高温度に於て、第二の硬度ピークが現はれる。C 0.2% 鋼に比すれば焼の入り始める點が著しく低温によつてゐる。

(iii) Cr-Mo 肌焼鋼。第7圖の如く、姿勢が二段型であるが、Cr 及び Mo の共存の結果と考へられる。

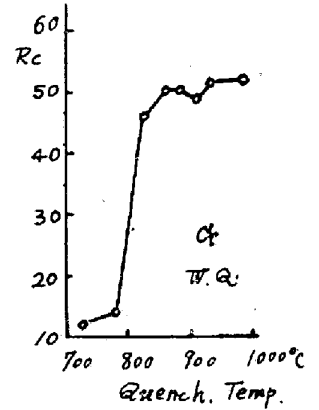
(iv) Ni-Cr 肌焼鋼。第8圖に示す如く、この鋼の焼の入り始める點即ち a は C 0.2% 鋼のそれよりも約 50°C 低温によつてゐる。Ni 添加に基く Ac₃ 點の降下によるものである。

(v) Si-Mn-Cr 鋼。第8圖をみると高温の所に第二

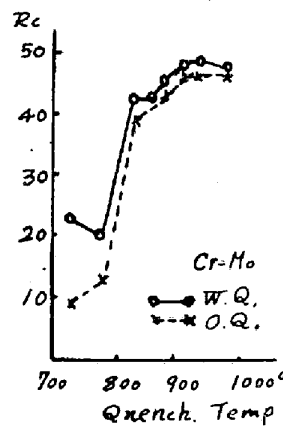
のピークがみえる。



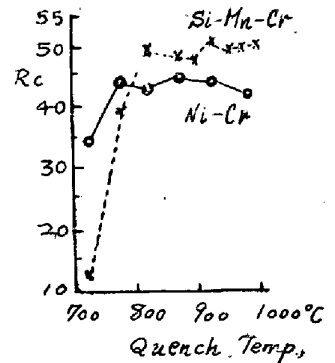
第5圖 C 0.2% スエーデン鋼。水冷。10×10×20mm 加熱 20min



第6圖 Cr 鋼 (H51023) 10×10×30mm。加熱 20min。水冷



第7圖 Cr-Mo 鋼 (C88 53) 30mmφ×15mm。加熱 30min 水冷。油冷 (60°C)



第8圖 Ni-Cr 鋼 (SH-80) 15×15×20mm。加熱 320min 水冷; Si-Mn-Cr 鋼 (SMC 1) 15×15×15mm 加熱 20min 水冷。

VI. 肌焼鋼に関する実験の綜括

(1) Ac₃ が高い爲最高硬度を示す水平部分 (a b.) が著しく少ない。この點に於ては炭素鋼と合金鋼の著しい差に注目せねばならない。

(2) 焼の入り始めが徐々である。肌焼鋼の場合には二段型曲線が加熱時間を延長することにより水平型に變化しない。構造用鋼の場合には二段型は主として難溶性

炭化物の存在に基因するものであるから、加熱時間を延長すると水平型に変化する。肌焼鋼の場合のそれは主として低炭素による Ac_1 と Ac_3 との差の大なることによる。

(3) 肌焼鋼に於ては $950^{\circ}C$ 邊に於ける脱炭が構造用鋼よりも著しいことが認められた。

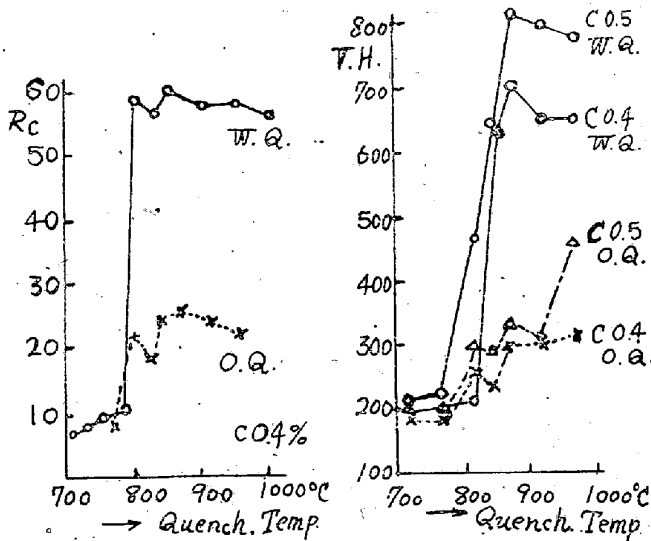
(4) 最高焼入硬度を示す水平部分の長さは C-, Cr, Cr-Mo, Ni-Cr 鋼の順に増大する。これは Ac_3 がそれぞれ $854, 840, 845, 790^{\circ}C$ の如くに降下することによる。Ni-Cr 鋼肌焼鋼の一つの特色は Ac_3 の低い點で明かである。

VII. 構造用鋼に関する實驗

(i) スウェーデン炭素鋼 (C 0.4% 及び 0.5%)

構造用鋼研究の基礎として C 0.4 と 0.5% のスウェーデン鋼の實驗を行つた。油冷の場合には肩のくづれが著しく、最高焼入硬度も Rc 24 邊であり、それ以上上昇せぬ。Nead の實驗でも B. H. N 240 邊であり、著者の實驗と一致した結果を示している。水冷すれば Rc 60 迄上る。C 0.4% 邊の材料に就て合金鋼と炭素鋼とを比較すると、油冷の場合の焼入性に著しい相異のあることが目立つ。即ち同一 C% の合金鋼では油冷でも充分焼が入るのに炭素鋼では焼が入らない。

第9圖は Rc で示し、第10圖は V. H. N で示したものである。V. H. N の方が Rc. H. N よりも最初のピークを明かに示す。又 V. H. N で C 0.4% と 0.5% の場合の水冷硬度が著しく違つている。油冷の場合には高焼入温度の場合の硬度が C% によりちがつてく

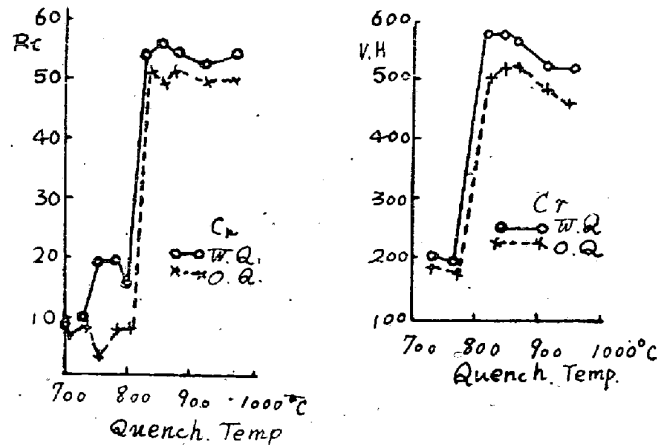


第9圖 C 0.4% 鋼加熱 20min
10×10×20mm. 水冷 15×
20×20mm 油冷 (65°C油)

第10圖 炭素鋼
加熱 30min.
25×25×15mm

る。

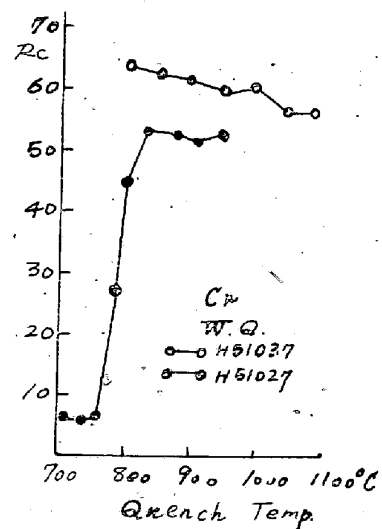
(ii) Cr 鋼(A 3143) 第11圖は Rc. H. N によるもの、第12圖は V. H. N によるものである。V. H. N の方をみると、多少油冷硬度の肩がだれていて、Rc 硬度曲線よりも水冷、油冷曲線の差が明かになると共に、最初のピークが明かになる。炭素鋼の場合と同一である。



第11圖 Cr 鋼 (A3143) 20×10×10mm 加熱 20min
第12圖 Cr 鋼 (A3143) 15×15×20mm 加熱 20min

(iii) Cr 鋼 (H 51027, H 51037)

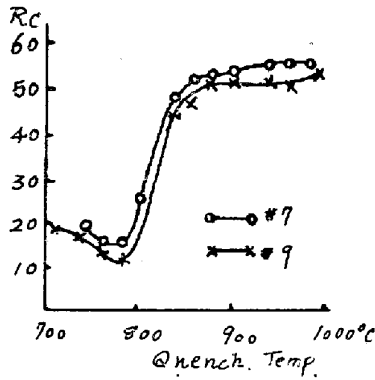
H 51027 は微弱であるが2段型を示す。H 51037 も同様に2段型を示す筈であるが、加熱が 2hr といふ長時間の爲にこの圖には現はれていないものと考え。兩者を比較することにより同一 Cr% で C% のみが異なる場合の状況を知ることが出来る。



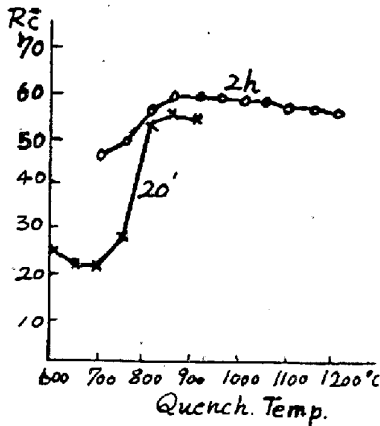
第13圖 Cr 鋼
10×10×15mm 加熱 20min

(iv) Cr-Mo 鋼 (□8812) 第14圖の如く、加熱時間の長い方が短い時よりも焼入硬度が高い。この點を

15×15×15mm 試片で脱炭に注意しつつ 850°C で 10, 20, 30min 1, 2hr 加熱して水冷した場合の Rc を測ると第3表の如くに, 1hr 以下では時間と共に硬度は上昇する。



第14圖 Cr-Mo 鋼 (#8812)
水冷 10×10×15mm



第15圖 Cr-Mo 鋼
15×15×15mm 加熱 20min

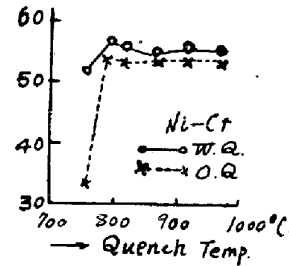
第3表

加熱時間	10min	20'	30'	1 hr	2'
硬度 Rc	55.0	56.0	57.0	58.0	58.0

(v) Cr-Mo 鋼 #7 #9 第15圖はその結果を示す。

(vi) Ni-Cr 鋼 (#1820)

水温 30°C 油温 60°C の場合の曲線を第16圖に示す油冷の場合には2段型を示すが水冷の場合には大して著しくない。又 800°C 位に第一のピーク, 900°C 邊に第二のピークがある。同一試料の 10×10×100 mm の試片を用ひ, 10, 30min, 1, 2, 3, 4, 6h の加熱時間で各温度に加熱して水冷硬度を測る。(第4表) 10min よりも 30min 加熱の方が 800°C では僅かながら硬度が高く, 950° 以上に於ては硬度が低い。後者は残留 オーステナイト量の増加, 粒子生長, 脱炭の影響の重畳せる爲に生ずる現象であらう。



第16圖 Ni-Cr 鋼 (#1820)

10×10×15mm 加熱 20min

(vii) Si-Mn 鋼 (第17圖)

第17圖の如くに Si-Mn 鋼の特徴として Ac₃ 點が高い爲に焼の入り始める點が高く, 且つ高焼入温度でも硬

第4表 Ni-Cr 鋼 (#1820) の焼入硬度 10×10×100mm 水冷

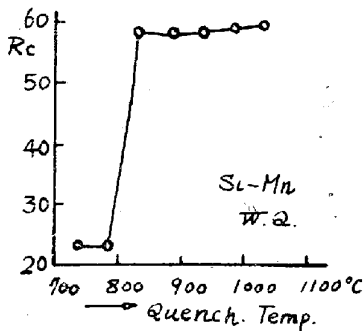
	700	750	800	850	900	950	1000	1050	1100	1150	1200 °C
10min	—	50.4	56.9	56.9	56.7	56.7	56.5	—	55.7	—	54.9
30'	20.8	52.1	57.1	57.0	57.0	56.3	55.4	—	54.9	—	53.3
1 h	—	—	57.0	56.8	55.0	54.9	55.0	—	54.0	—	52.4
2 h	—	—	56.5	56.6	55.4	54.7	54.6	54.4	54.0	53.2	52.3
3 h	—	—	55.6	55.4	54.8	54.4	54.6	—	53.8	—	52.2
4 h	—	—	54.5	54.2	53.8	53.6	54.0	—	53.5	—	51.8
6 h	—	—	54.0	53.6	53.6	53.0	54.0	—	53.3	—	—

第5表 Si-Mn 鋼の焼入硬度に及ぼす加熱時間の影響

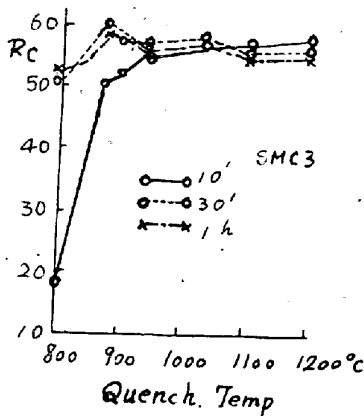
加熱時間	10	20	30	60min
硬度 Rc	58.5	58.5	58.0	59.6

度が低下しない。

加熱時間の長短の影響をみる爲に 10×10×20mm 試片を 860°C で 10, 20, 30, 60min 加熱して水冷し硬度を測る。第5表の如くに殆ど硬度に変化がない。Si-Mn 鋼は Cr 鋼, Ni-Cr 鋼に類似し, Cr-Mo, Si-Mn-Cr 鋼, Cr-V 鋼の如くに難溶性炭化物をもたないことが分る。



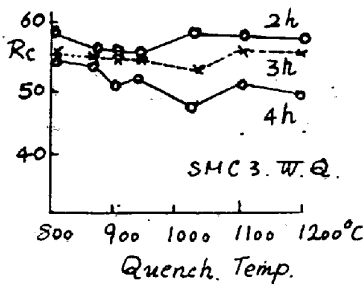
第17圖 Si-Mn 鋼 10×10×10mm
加熱 15min



第18圖 Si-Mn-Cr 鋼
(SMC 3) 10×10×100mm 水冷

(viii) Si-Mn-Cr 鋼

SMC 3 鋼の結果を第18圖, 第19圖に示す。SMC 2 鋼も殆ど同様の傾向である。即ち加熱時間の短い時は高速度鋼の如くに充分焼が入らないので, 2 段階焼入硬度曲線を示す。10×10×100mm の試料に於ては 30min-1hr の間に於てはこの性質は飽和する。又加熱時間 2, 3, 4, 6hr, に到れば高焼入温度に於ては残留オーステナイト量の増大により硬度は減少する。残留オーステナイト量の増大に就いては焼戻によつて證明し得る。



第19圖 Si-Mn-Cr 鋼
(SMC 3) 10×10×100mm 水冷

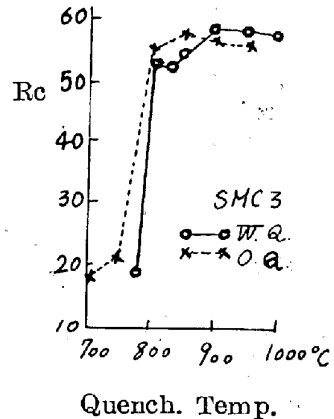
加熱時間の短い間に充分硬度の出ないのは Si が C の擴散を阻止し²³⁾, あだかも W, V と Cr が共存した

如き狀況を呈するものと思はれる。

SMC 2 鋼 (C=0.31%) は SMC 3 鋼 (C=0.38%) よりも C% が少い爲にかかる現象の小さいのは當然の歸結である。

又 Si-Mn-Cr 鋼は高焼入温度迄, 焼入硬度が低下せぬ點に特徴があり, 同様の現象を示すのは Si-Mn 鋼である。

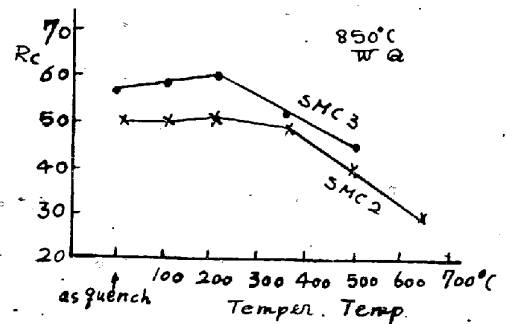
又 SMC 3 鋼の10×10×15mm の試料で水冷, 油冷の試験をしてみると (第20圖) 800-850°C 邊に於ては油冷硬度の方が高く現はれた。又 20min 以下の短時間加熱の場合に 2 段階硬度曲線を示す。直径 10mm 邊の大きさでは均一温度に達するのに 6min で充分な筈であるから 10min 加熱試片が 2 段階曲線を示す事實は, 均一温度になつた後に更に加熱せねば炭化物の固溶しないことを示すものと考へられる。



第20圖 Si-Mn-Cr 鋼 (SMC 3)
10×10×15mm 加熱 20min 油温 60°C

(ix) Si-Mn-Cr 鋼の残留オーステナイト

SMC 2, SMC 3 鋼の 10×10×100mm 試片を 850°C で水焼入し, これを各温度で 40min 焼戻すると, 200°C に極大點がある (第21圖) 次に各温度で水焼入したものを 200°C×40min 焼戻してその硬度上昇をみ

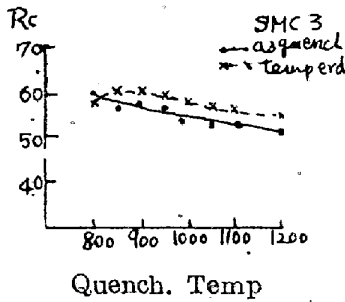


第21圖 Si-Mn-Cr 鋼
各温度 40min 焼戻

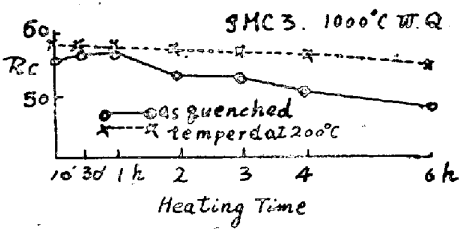
ると (第22圖) 焼入温度の高い程, 又同一焼入温度の場合には焼入の爲の加熱時間の長い程, 硬度上昇は著し

い。

第22図の如く、800°C・水冷では焼戻をする、反つて硬度は降るが、850°C以上焼入なら硬度上昇がある。それも1000°C迄は増大し、それ以後はやや減少している。又第23図の如くに焼戻による硬度上昇は焼入加熱時間の長い程著しい。以上の傾向をみるに、かかる硬度上昇は残留オーステナイトの分解によるものと考へられる。



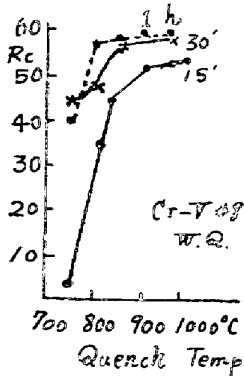
第22図 Si-Mn-Cr 鋼 (SMC 3) 各温度で水冷し 200°C×40min 焼戻す



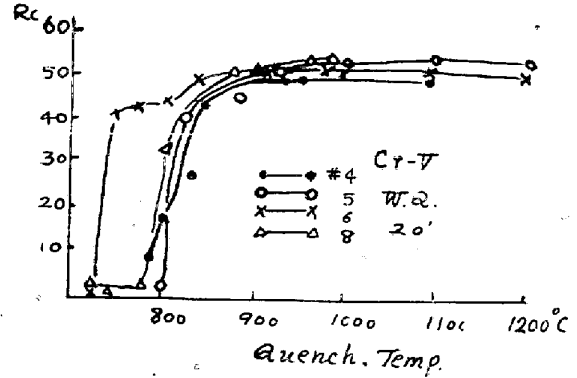
第23図 Si-Mn-Cr 鋼 100°C 水冷 200°C×40min 焼戻 焼入加熱温度を變化させる

(X) Cr-V 鋼

Cr-V 鋼 #4 #5 #6 #8 では2段階焼入硬度曲線を示す。(第24図、第25図) 本実験に於ては Cr-V 鋼に於ける2段階を示す傾向は、構造用 Si-Mn-Cr 鋼よりも微弱であり高炭素鋼、高 C-高 Cr 鋼、高 C-W-Cr よりも著しく微弱である。

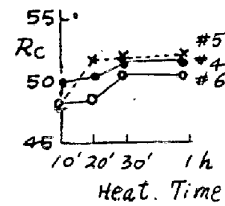


第24図 Cr-V 鋼 (#8) 水冷 (12°C) 10×10×15mm 加熱 20min



第25図 Cr-V 鋼 水冷 10×10×20mm 加熱 20min

又第26図の如く #4, #5, #6 の結果を比較すれば、Cr の含有量の多い #5, #6 に著しく、Mo 0.2-0.3% の添加 (#4 はその例) は以上の如き意味に於ける難溶炭化物形成を促進せぬものと考へられる。#4, 5, 6 の三種の Cr-V 鋼は同一鍛造比で試片を作つた。



第26図 Cr-V 鋼 860°C 水冷 10×10×20mm 加熱時間を變化す

(xi) Cr-V 鋼の焼入後の時効による硬度上昇

Cr-V 鋼の 10×10×15mm 試片を加熱時間を變へて焼入したが、その直後及び 46 時間後に硬度 Rc を測定した。第6表の如くに 46 時間経過した場合の硬度は 880°C 以上の場合に増加している。これは残留オーステナイトの焼入歪力による分解に基くものと説明される。前記の構造用 Ni-Cr 鋼 (#1820) に於てはかかる時効による硬度上昇は認められなかつた。

第6表 Cr-V 鋼 (#8) の常時時効による硬度上昇

焼入温度	焼入直後の硬度 (Rc)			46 時間後の硬度	
	10min	30min	1 hr	30min	1hr
780°C	—	43.5	40.4	43.5	40.1
830	—	47.3	56.5	47.8	56.3
860	54.0	55.0	—	—	—
880	—	56.8	57.5	57.2	57.9
930	—	57.2	57.7	58.7	58.4
980	—	57.2	58.2	59.1	59.0

VIII. 構造用鋼に関する実験の綜括

(1) C 0.33% の Ni-Cr 鋼に於ては油冷で2段型、水冷で水平型を示した。C 0.4% 以上を含有する合金鋼では一般に水冷。油冷の曲線が一致し C 0.3% に近いものでは開きが出る。しかし C=0.3~0.5% の普通炭素鋼では水冷、油冷の両曲線に著しい差を生じた。この點は炭素鋼と合金鋼の著しい相違である。

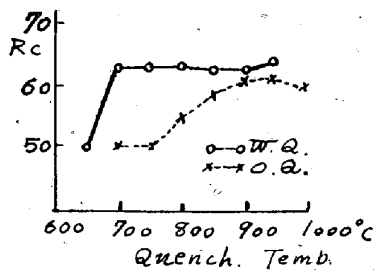
(2) 比較的短時間加熱の場合に焼の入りにくい材料、即ち2段型曲線を示す鋼には Si-Mn-Cr鋼, Crの高い Cr-V 鋼がある。その程度は高 C 鋼よりも遙かに小さい。この傾向は Cr 鋼, Ni-Cr鋼, Si-Mn 鋼には殆ど現はれず, Cr-Mo 鋼には僅かに認められる。

(3) 充分なる焼入硬度を示す焼入温度範囲は大體その下限を示す A_{c_1} 點の位置で定められる。上限は粒子生長, 脱炭傾向の激化により約 900°C と一定している。故に A_{c_1} 點を下げる Ni の添加は著しく有利であり, 所謂代用鋼は A_{c_1} 點を上昇させる元素を含む爲に不利である。

IX. 工具鋼に関する実験

(i) 高炭素鋼

水冷の場合に著しい2段型を示す。(第27圖) 焼の入り初める點と加熱時間との關係は第7表の如くである。



第27圖 高炭素鋼

15×15×20mm 水冷

第7表 炭素鋼の焼入下限と加熱時間

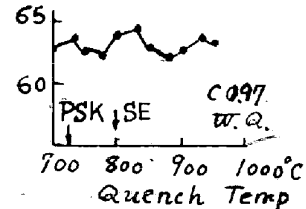
加熱時間	肩點温度 (°C)
10 min	850
20	800
30	750
2h	750

15×15×20mm 試片

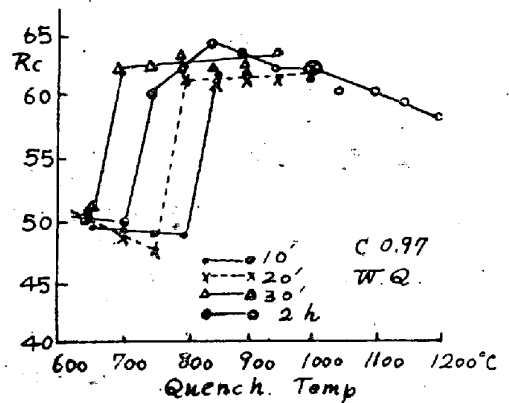
又硬度の水平部分を詳細にしらべてみると第28圖の如くにピークが二つある。過共折鋼に於ては PSK と SE 間に於て残留オーステナイト量が最大となる⁴⁾ので、そ

の部分の硬度曲線は下に凹んでいる。PSK 點と SE 點の場所と、實驗結果は一致しているので、二つのピークの有する意味を上述の如くに解釋してもよいであらう。

第29圖は油冷の場合の肩のくづれ、即ち2段型曲線を示すが、油冷時の肩點の著しくくづれは、以下に記述する Cr, Cr-W 含有の高炭素合金鋼には現はれない。



第28圖 高炭素鋼 (C 0.97)
15×15×20mm 水冷 加熱 30min

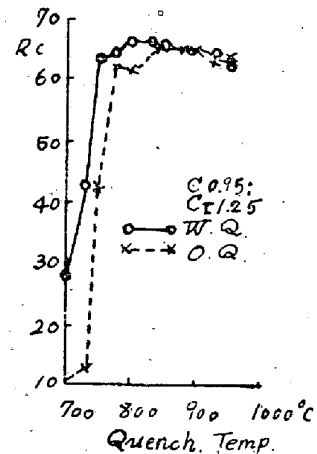


第29圖 高炭素鋼

水冷:C 0.97; 15×15×20mm
油冷:C 0.81; 10×10×15mm

(ii) 軸受用 高 C 高 Cr 鋼

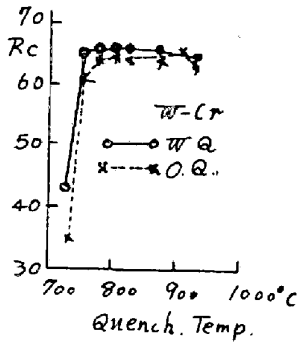
第30圖を高 C 鋼の曲線(第29圖)に比較すれば同一焼入加熱時間の場合に水冷、油冷の両曲線が接近している。これは Cr 含有による臨界冷却速度の低下によるも



第30圖 高 C 高 Cr 鋼
(A 3563)

25φ×15mm 加熱 30min

のとして説明される。又 20min, 30min 加熱の油冷曲線を比較すれば、20min のものは 30min のものよりも肩點が高温にあるが、これは炭化物の難溶性に基くものとして説明される。



第 31 圖 W-Cr 鋼
10φ×20mm 加熱 20min

(iii) W-Cr 鋼

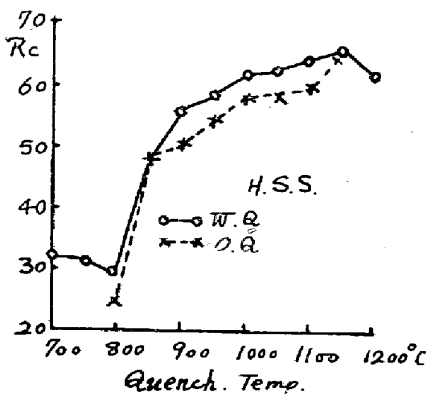
第 31 圖の如くに油冷曲線の肩が僅かにくづれているが、高 C 高 Cr 鋼と同様に水冷、油冷の兩曲線が殆ど一致している。W-Cr 鋼に於ては炭化物が安定なる爲、加熱時間の増加と共に焼入硬度は増加する筈である。10φ×15mm 試片を 815°C 水冷して、時間と硬度との關係をみると第 8 表の如くに、炭化物の固溶に相當の時間を要することが分る。

第 8 表 W-Cr 鋼の焼入硬度に及ぼす加熱時間の影響

加熱時間	10min	20 "	30 "	1 hr
焼入硬度 Rc	65.1	65.1	68.0	68.0

(iv) 高速度鋼

第 32 圖に示す如く、高速度鋼は典型的な 2 段型曲線を示す。第 1 圖に示す (a)-(b) なる水平部は極めて狭く (c)-(a) なる上昇部が大である。



第 32 圖 高速度鋼
15×15×20mm 加熱: 15min

高速度鋼に於て圖中 (b) よりも右にある硬度低下部分が 1250°C 以上にある爲に²⁴⁾、著者の實驗には現はれていないが曲線の形態としては他の鋼種と全く同一である。

X. 工具鋼に関する實驗の綜括

(1) 工具鋼の焼入温度範囲は肌焼、構造兩鋼よりも廣い。それは Ac_3 の低下又は過共折鋼に於ては Ac_1 より焼が入る爲である。

(2) 工具鋼は高烧入温度 (900°C 以上) で焼入ても肌焼一構造用鋼の如くに硬度が低下せぬ。それは兩種に比して脱炭の少いこと、見かけの粒子の小さいこと、炭化物量の多い爲に残留オーステナイト量の増加が硬度に現はれないことによるものと考へられる。

(3) 油冷、水冷の兩曲線に大差のあるのは高炭素鋼であり、高 C の合金鋼では兩者は大體一致している、

(4) 高 C の合金鋼と非合金鋼では一般に 2 段型焼入硬度曲線を示すが、これは難溶性炭化物の存在によるものとして説明される。しかもかかる現象の存在する構造用 Cr-V, Si-Mn-Cr 鋼よりも、高炭素鋼に於てはその程度が著しい。(昭和 24 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) 村上, 三上: 金屬の研究 9 卷 6 號
- 2) O. W. Mc Mullen: Trans. A. S. T. M. 14 (1928) 477
- 3) P. Oberhoffer.: Das Technische Eisen. 三橋譯下卷 P. 280
- 4) H. Esser. u. G. Ostermann: Arch. Eisen. 8 (1934/35) 173
- 5) H. Cornelius u. H. Esser.: Arch. Eisen. 8 (1934/35) 7 (1933/34) 693
- 6) Tungbluth: St. u. E. (1922) 1394
- 7) Mathews: T. A. S. S. T. 8 (1925) 565
- 8) Mauer, Schöter: St. u. E. 49 (1929) 929
- 9) 本多, 岩瀬: 金屬の研究 3 (1936) 326
- 10) Scheil: Z. anorg. all. Chem. 183 (1929) 98, Z. Elektrochemie 38 (1932) 554
- 11) E. C. Bain: T. A. S. S. T. 8 (1925) 14
- 12) J. Kubasta.: Das Haerteverhalten der Edelstaehle (1940) 53
- 13) Pölguter: P. Oberhoffer 著三橋譯, 工業用鋼鐵下卷 P. 283.
- 14) Oertel: V. D. I. 71 (1927) 1503

- 15) A all: P. Oberhoffer: Das Technische Eisen.
第2版 (1925) P. 459 に引用.
- 16) Moser: Eisenhütte 4 版 (1938) P. 65
- 17) 松下: 東北大理科報告 11 (1922) 471
- 18) 三上, 金属の研究 8 (1931) 398; 松繩, 鈴木:
機械學會誌 36 (1933) 503
- 19) Grossmann, Asimow.: Iron Age 145 (1940)
April. 25
- 20) Burns, Moore, Archer: T. A. S. M 26 (1938) 1
- 21) Nead: T. A. I. M. M. E. 53 (1915) 218-237
- 22) Houdremont u. Schröder: Arch. Eisenh.
8 (1934/35) 447
- 23) 清水, 竹本: 電気製鋼 18 (昭17) 259
- 24) O. Pattermann: 「高速度鋼, 粗大粒子焼割とその
防止」 St. u. E. (1941) 三橋譯 全科技聯技術集
録所載
- 25) E. C. Bain: T. A. S. M. 20 (1932) 385-428

正 誤 表

昭和 25 年 5 月號所載研究部會表中下記の通り訂正す.

鐵鋼二次製品部會

頁 50
行 3

誤		正	
鐵 鋼	鑄 鋼	伸 線	磨帶鋼