

# 鋼の焼入硬化に及ぶ特殊元素の影響(I)

(日本鐵鋼協會 第 10 回講演大會講演)

## 三. 神 正 苗\*

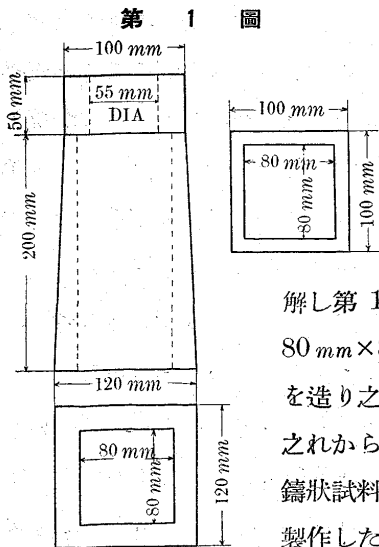
**SYNOPSIS:**—The influence of several elements on the quench-hardening of steel was studied and in this paper the effects of Ni, Cr and Co were described. The specimens were made by adding about 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% of these elements into the molten carbon steel with eutectoid composition and finished into a cylinder of 30mm in diameter and 30mm in high. The specimens were quenched from 750°, 800°, 850°, 900° and 950° into water and oil. The hardness was measured in 1 mm distance along a diameter on a section which was ground off 5mm from the surface, using the Vickers' hardness tester. The transformation points of these steels were determined by means of a differential dilatometer. The microstructure was also examined. From the hardness distribution on the sectional surface the following conclusions were deduced:—Nickel increases the quench-hardening effect of steel; Chromium increases the effect very markedly; Cobalt rather decreases the effect.

### I. 緒 言

普通の炭素鋼は其質量大なるときは其焼入に由て内部まで硬化することは出来ない。然るに之に Ni, Cr, Mn 等を加ふるときは割合に遅い冷却速度に由ても内部まで硬化し得られることは既によく知られた所である。併し其他の諸元素が鋼の焼入硬化に及ぶ影響は未充分明でない。因て著者は特殊鋼として用ゐられる各種の元素が鋼の焼入硬化に及ぶ影響を知るために一定組成の炭素鋼に 2% 以下の Ni, Cr, Co, Mn, W, V, Mo 及び Si の各元素を加へたるものを造り種々の焼入条件の下に焼入れ其断面に就いて各部分の硬度を測定し、加へたる元素の如何により焼入硬化が内部に及ぶ程度の差異を研究した。

### II. 試料の調製及び硬度の測定

試料の調製には共析晶の成分に近い瑞典炭素鋼を主材料



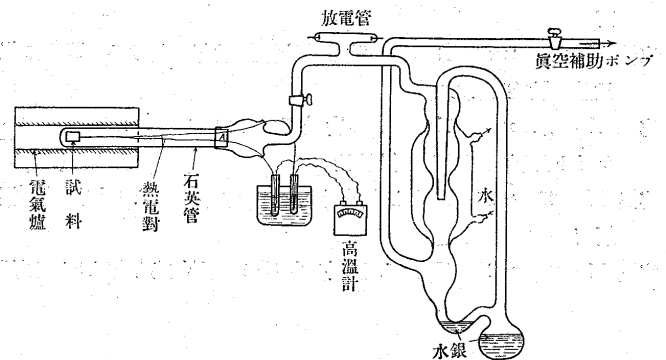
とし之れに Ni, Cr, Co, Mn, W, V, Mo, Si の 8 種の各元素を夫々約 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% の割合に加へ之れを高周波電気爐で熔解し第 1 圖の様な鐵型に鑄込み、80 mm × 80 mm × 200 mm の鑄鋼を造り之を徑 40 mm 位に鍛鍊し之れから徑 30 mm 長 30 mm の圓鑄試料を一種類につき 10 ケ宛製作した。此際試料の形態及び大

さを可及的一定にするため旋盤によつて多數の試料を正確に、同一形に仕上げた。又焼入液としては水及白絞油の二種類を使用し、12°~20°C のものに種々の高温度から焼入した。第 1 表は實驗に用ひた試料の分析結果を示す。

第 1 表 各試料分析結果

C-鋼		Ni-鋼		Cr-鋼		Co-鋼				
No.	C%	No.	C%	Ni%	No.	C%	Cr%	No.	C%	Co%
1.	0.93	1.	1.10	0.50	1.	0.83	0.53	1.	0.65	0.55
2.	—	2.	0.97	0.90	2.	0.65	0.99	2.	0.75	1.00
3.	—	3.	1.20	1.47	3.	0.79	1.49	3.	0.65	1.53
4.	—	4.	0.80	1.91	4.	0.72	2.02	4.	0.89	1.94

第 2 圖



加熱は第 2 圖に示す様に水銀擴散ポンプを使用して相當高度の真空(放電管内に充分螢光を認め得る程度)となし表面の脱炭を極力最小限度に止める様にした、加熱後檢鏡によつて脱炭の様子は見得なかつた、而して所要温度に達する時間は常に 1.0~1.5 時間として所要温度に約 20 分間保持した後第 2 圖 A をはづし直に水或は白絞油に焼入した。

焼入温度は 750°, 800°, 850°, 900° 及び 950° の 5 種とし、熱處理を了へた試料は表面から 5 mm を削り去り

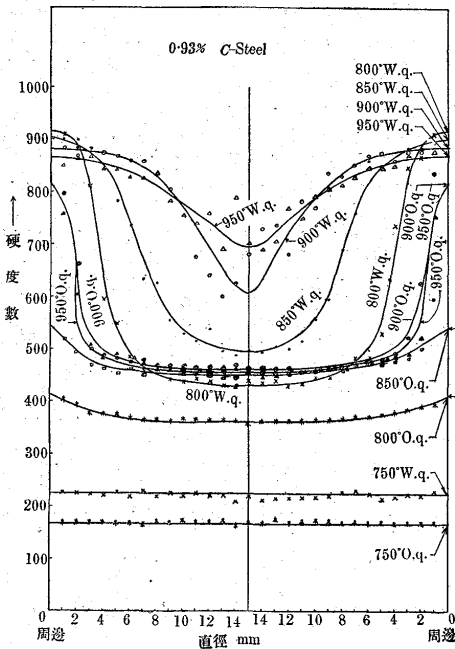
\* 秋田鐵山専門學校

第 2 表 0.93% C 炭素鋼

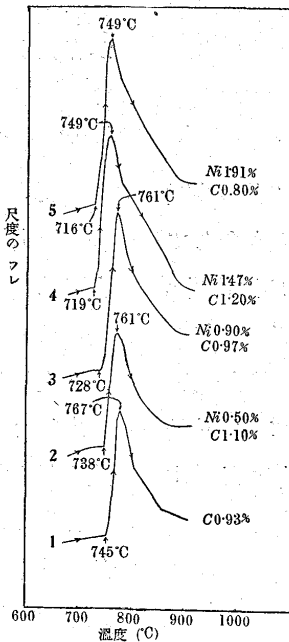
水焼入					油焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考	焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考
750°C	周中	邊 225 央 217	P+S P		750°C	周中	邊 170 央 165	P P	周邊粒状 P なれども中央には所々に層状の P を含む
800°C	周中	邊 915 央 430	M+T 微 T+M 少	周邊より 4~5mm に至り M. と T. との量は相半ばす	800°C	周中	邊 410 央 360	T T	周邊 M 的の組織なり
850°C	周中	邊 900 央 500	M T+M 少		周邊より 4~5mm には T. なし	850°C	周中	邊 540 央 40	
900°C	周中	邊 885 央 610	M M+T 少	T は結節状をなし、周邊より 3mm 位の附近より混入す	900°C	周中	邊 810 央 460	M+T 微 T+M 微	
950°C	周中	邊 870 央 700	M M+T 少	周邊の M は腐蝕され易い	950°C	周中	邊 810 央 455	M+T 微 T+M 微	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

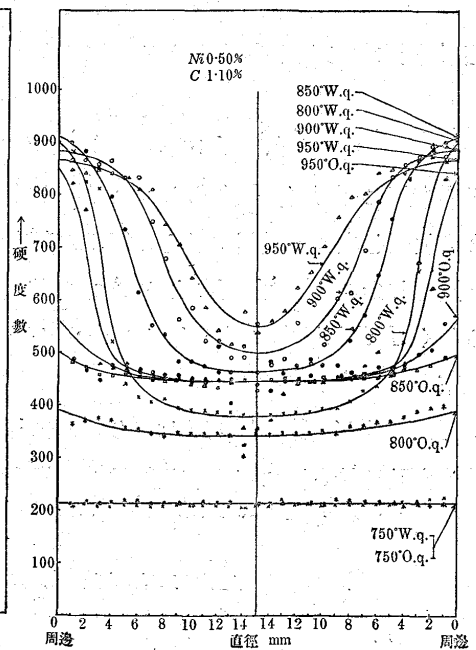
第 4 圖



第 3 圖 a



第 5 圖



たる切断面に於ける硬度の分布状態を検べた、硬度計は Vickers 硬度計を用ひ、20 kg 荷重、 $\frac{2}{3}$ " の對物レンズを使用して周邊から 1 mm 毎に其直径に沿ふて硬度を検した

### III. 變態點の測定

各元素による鋼の變態點( $A_{c1}$ )の移動を知るため示差膨脹計を用ひて温度による長さの變化を測定した。焼入試験に於ては所要温度に加熱して其温度から焼入を行つたため變態點の測定に際しても加熱曲線だけを探つた。第 3 圖 a b. C. は Ni-鋼、Cr-鋼、及 Co-鋼の加熱曲線を示す

### IV. 炭素鋼

第 2 表は特殊元素を加調しない普通炭素鋼の各種温度よ

り焼入した結果を表示したもので、第 4 圖は其硬度分布を圖示したものである。圖に於て縦軸には硬度數を採り横軸には断面上的周縁よりの距離を採つた。又 o. q. は油焼入 w. q. は水焼入を示す。之れに由て見れば 750°C より焼入れたものは殆ど焼入の効果は認められない、焼鈍したものよりは少しく硬度が高いが組織上には殆ど變化がない。これは 750° は  $A_{c1}$  變化が起り初まる温度であるが焼入の間に容易に  $A_{r1}$  變化が起るためである。又水焼入したる場合は油焼入の場合よりも少しく硬度大なるは  $A_{r1}$  點以下に於て地鐵中に溶解せる炭素の析出を阻止するによる。

800°C から焼入れたものは水を使用した場合には周邊には充分焼入効果が表はれ組織も完全にマルテンサイトを

示すが中央の大部分はトルスタイトに極めて少量のマルテンサイトが混在するに過ぎない、又油に焼入れたものは周縁と中央部とでは硬度の差少く、組織は周縁でもマルテンサイトは見出し難い程度で總體的に焼入の効果は殆ど認められぬ。

850°, 900° 及 950°C と焼入温度を上昇するに従て周縁からの硬化範囲は次第に内部に深く入り、中央部の硬度數も亦漸次増加するが水焼入の場合には周縁即冷却速度の早い表面の硬度數は漸減する傾向を示す之れは残留オーステナイトの増加するに基因するものと考へられる<sup>1)</sup>、而して中央部では冷却速度の緩慢のためトルスタイトを生ずるのである、又是等の温度より油に焼入れたものは周縁1—2mmの間はマルテンサイトを含む組織であるが中央は800°Cから水に焼入れたものと同様に硬度に現はれた數も第4圖に見る如く略同様である。

### V. ニツケル鋼

前記炭素鋼に Ni を 0.5, 0.90, 1.47, 1.91% の4種の割合に加調し夫々の試料に就き前同様の熱處理をなして硬度を測定した。Ni の加調による  $A_{c1}$  の移動は第3圖aに見る如く Ni を増すに従ひ次第に  $A_{c1}$  の始點及び終點共に低下す。

(1) Ni 0.5%, C 1.10% 鋼:—此試料に就ての實驗結果は第3表及び第5圖に示す、此鋼は普通炭素鋼と比較す

第3表 Ni 0.5%, C 1.10% 鋼

水焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備考
750°	周 邊	215	S+P	
	中 央	210	P	
800°	周 邊	900	M+C	周縁より 2mm 附近に至て極少量の T を出す
	中 央	330	T+C+M 微	
850°	周 邊	910	M	周縁より 3mm 位より少量の結節状 T を含む、中央の T も結節状なり
	中 央	465	T+M 少	
900°	周 邊	885	M+(A)	周縁の A は顯微鏡では判りしない T は結節状
	中 央	500	T+M 少	
950°	周 邊	870	M+C 微	T は結節状
	中 央	550	M+T	
油 焼 入				
750°	周 邊	210	P+C	周縁の C は稍粒状化する
	中 央	205	P+C	
800°	周 邊	390	T+M+C	
	中 央	340	T+C+M 微	
850°	周 邊	500	M+T	
	中 央	445	T+M 少	

1) 本多、大澤金屬の研究第6巻第1號 P. 6.

900°	周 邊	560	M+T 少	} T は結節状
	中 央	445	T+M 少	
950°	周 邊	850	M+T 微	} 周縁Mのみなれども 1mm の所に少量の結節状 T あり
	中 央	445	T+M 少	

注意: P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示はす

るに  $A_{c1}$  の低下も餘り大差なく、750°からの焼入では周縁にはトルスタイト、中央にはパーライトの發達を示し焼入効果としては殆ど認められない、然し普通炭素鋼に比し全體的に硬度を増してゐるのは Ni が地鐵に固溶して居る結果であると考へられる。800°C から水中に焼入れたものは周縁は立派に硬化してゐるが周縁から 4mm 位内部に入ると急に硬度を減じ組織上には多くのトルスタイトを混在して居る、油に焼入れたものゝ硬度は C—鋼の場合と餘り變りないが中央部にも極少量ながらマルテンサイトが存在する。之れは Ni のため  $A_1$  が多少低下したためである。

850°, 900° 及 950°C から水焼入れたものは周縁からの硬化程度は焼入温度の上昇と共に其深度を増加するが普通炭素鋼に比しては硬化の深度は淺い。殊に油焼入の場合では 850°, 900° より焼入れたものは C—鋼に比し、中央部は大差ないが周縁は硬度數遙かに低下し 950° から油に焼入れたものゝみが C 鋼のそれと匹敵する。

之れを要するに Ni は普通炭素鋼の變態點を低下せしめ焼入が容易になるが 0.5% Ni 位であれば  $A_1$  の低下は少く寧ろセメンタイトの粒状化を助長するため、中央部の比較的冷却速度の遅き部分にあつては  $A_1$  の低下による焼入効果の増加を減殺することゝなる、即硬度のみを以て焼入効果を云々する場合には効果は減少したものと現はれる、然し  $A_1$  の低下に伴ひ焼入の容易になる事實としては、800°からの油焼入に於ては中央部にもマルテンサイトの混在して居ることである。

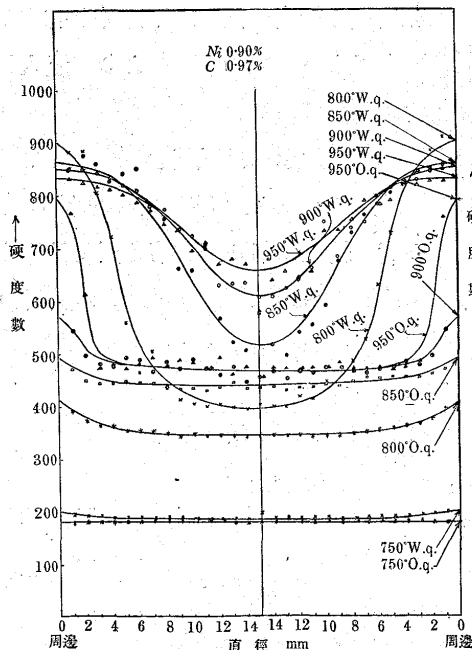
(2) Ni 0.90%, C 0.97% 鋼:—此試料の  $A_{c1}$  點は 728°C に始まり、761°C に終はる、(第3圖 a 曲線 3) 此試料に就ての實驗結果は第4表及び第6圖に示す如く、750°から水中又は油中焼入れたものは硬度に於て殆ど變化を認めない、是れ冷却の途中に於て全部トルスタイトにまで變化し終るため水焼入の場合の硬度は中央稍低く、周縁に於て硬度數 200, 中央 185 を示して居るが油焼入にあつては周縁と中央とに硬度の差を認め難い、800°C に於ては第6圖に見る如く水焼入の場合には充分焼入効果を示し、

第 4 表・Ni 0.90%, C 0.97% 鋼

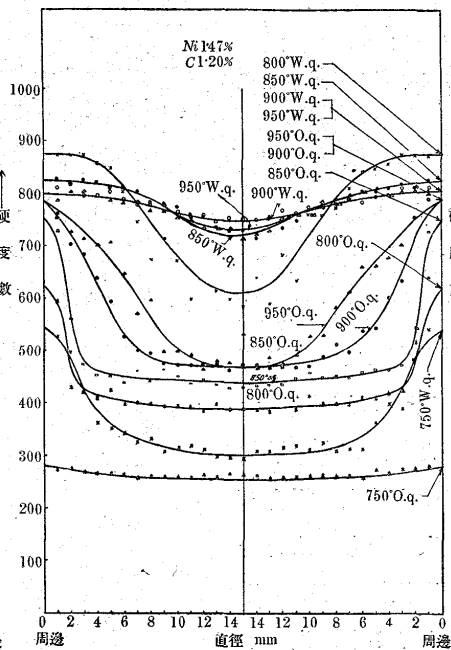
水焼入					油焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考	焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考
750°	周 邊	200	P	全體として粒状 P なり、初析セメントタイトは區別しがたし	750°	周 邊	180	P	周縁は粒状 P 内部に進むにつれ S に近くなる
	中 央	185	P			中 央	180	P	
800°	周 邊	900	M+C+(A)	全面に亘て C あり	800°	周 邊	400	T+M+C	
	中 央	400	T+C+M 少			中 央	345	T+M 少+C	
850°	周 邊	860	M+(A)	周縁より 3mm 位から T を混ぜ、中央の M:T は相半す	850°	周 邊	490	T+M 少	
	中 央	515	M+T			中 央	430	T+M 微+C 少	
900°	周 邊	850	M+(A)	中央の T. 前者より少し	900°	周 邊	560	M+T	
	中 央	610	M+T			中 央	465	T+M 少	
950°	周 邊	800	M+(A)		950°	周 邊	790	M+T 少	
	中 央	950	M+T			中 央	465	T+M 少	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

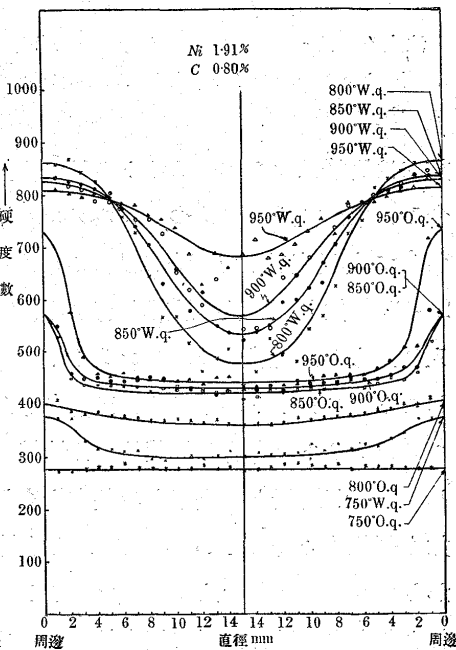
第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖



周縁はマルテンサイトの組織を有し、周縁から 3~4mm 附近までは硬度最大である。又同温度より油に焼入したものは水焼入のものよりも其効果遙かに劣るが中央部にはトルスタイト、炭化物及少量のマルテンサイトの組織を有することは前者と同様である。

焼入温度を 850° とする時は水焼入の場合には周縁に微量の結節状トルスタイトを見るのみで大部分マルテンサイトより成り中央部ではマルテンサイトとトルスタイトとが相半ばしてゐる、従て硬化作用は周縁より中心に深く入り中央部でも 500 以上の硬度数を示す、又油焼入に於ては周縁と中央部の硬度の差は餘り大ではないが全體的に 800°C の場合よりも遙かに硬度が高い。

900° 及 950° より水中に焼入れたものは前者に比し其効果の中心に及ぶ程度漸次に増大し、周縁と中央部との硬

度の差減少す、然し周縁に於ける硬度数は 800°C の場合を最高とし、漸次焼入温度の上昇と共に減少す、油焼入の場合には周縁でも温度の上昇と共に硬度数を増加するが中心部に及ぶ程度少く、周縁より 1~2mm より硬度数激減し中央部は 850°, 900°, 950° の場合にも餘り大差なし。

(3) Ni 1.47%, C 1.20% 鋼:—第 3 圖 a 曲線 4 に示すが如く此鋼の  $A_{c1}$  は 719°C に始まり 749°C に終はる又此鋼の焼入効果は第 5 表及第 7 圖に示すが如く 750°C からの水中焼入で既に相當の焼入効果を示す、組織に

第 5 表 Ni 1.47%, C 1.20% 鋼

水焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考
750°	周 邊	590	M+T 少+C	
	中 央	300	M+T+C	
800°	周 邊	875	M+C+(A)	周縁より 3mm 附近から T を混入す
	中 央	610	M+T+C	

850°	周	邊	825	M+(A)	} 周縁より 3mm 附 近から T を混入す
	中	央	720	M+T 微	
900°	周	邊	800	M+(A)	} 全體的には M なれ ども腐蝕され易き は A の残留による べし
	中	央	750	M+T 微+(A)	
950°	周	邊	800	M+(A)	} 周縁より 4mm か ら T を混ず、M は 着色され易い
	中	央	730	M+T 微+(A)	
油 焼 入					
750°	周	邊	280	S+C	
	中	央	255	S+C	
800°	周	邊	620	M+C+T 少	
	中	央	390	T+M 少+C	
850°	周	邊	750	M+T 微	} 周縁より 1mm 位入 たところに既に相 當量の T を見る
	中	央	440	T+M 少	
900°	周	邊	785	M+T 少	} 周縁には A が混在 する? 稍着色され 易い
	中	央	470	T+M 少	
950°	周	邊	785	M+T 微+(A)	
	中	央	470	T+M 少	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

於ては周縁はマルテンサイトの地に少量のトルスタイトを含み、中央に進むに従つてマルテンサイトの量を減ずる、而して其硬度数は周縁に於て 540 を示し、それより 2~3mm 位まで硬化の状態を有する、又同温度より油に焼入れたものは周縁にマルテンサイト組織を有してゐるが概してトルスタイトの地多く、又中央部に入つても少量のマルテンサイトを含有し總體的には焼鈍鋼よりは硬度が増加してゐるが周縁と中央部との差も少く且つ水焼入の場合の如く硬化は顯著でない。800° から水焼入したものは周縁から 3~4mm まではマルテンサイトと炭化物丈で、それより中央に進むに従て極微量のトルスタイトを混入する様になる。又硬度は周縁から 3mm 位までは一様でそれより中央に向ふに従て稍急に低下するが中央でも 600. 以上の硬度数を有す、然るに同温度よりの油中焼入にあつては周縁の硬度は水中に焼入れた場合の中央部に相當する位のもので此もの、中央部では其硬度は周縁より遙かに低い。其組織はトルスタイトの地にマルテンサイトを含む。漸次焼入温度を上昇せしめる時は中央部の硬化著しく、850°C では中央でも微量のトルスタイトを混ずる程度で全體がマルテンサイトの組織を示す、而して周縁と中央との硬度の差少く、硬度数は周縁の 825 に比して中央 720 を示す、900° 及 950°C より焼入れた場合では何れも 850°C の場合と大同小異で周縁の硬度数が温度の上昇と共に低下してゐるが、中央部では 850°C のものが硬度数 720、900°C のものが 750、950°C のものが 730 と焼入

温度を高むるに従て硬度を増す。而して此組織のものでは水焼入に於ては 900°C で焼入れたものが周縁と中央との差が最も少く然も全體的に充分の焼入効果を示して居る。又 850°C 以上より水中焼入したものに於ては周縁に稍腐蝕され易き部分がある。尙又 800°C で水中焼入れたもの、周縁の硬度と、それ以上の温度から焼入れた場合の周縁の硬度とは第7圖に見る如き大なる差あるは單に結晶粒の大小に關するのみならずオーステナイトの存在によると考へらる。

850°C 以上の温度より油焼入れたものは硬度は總體的に温度の上昇と共に増加するが水焼入の場合の如く中央部まで硬化し難く周縁より少しく内部に進めば直に硬度の低下を示し、内部に相當廣く硬度の低き水平部分を有することは第7圖に見る通りである、唯 950°C より油焼入れたものは内部まで相當硬化してゐる。

(4) Ni 1.91% C 0.80% 鋼：—此試料の  $A_{c1}$  は 716°C に始まり 749°C に終つてゐる、(第3圖 a 曲線 5 参照) 此試料についての實驗結果は第6表及第8圖に見る如く 750° より水中に焼入れたものは Ni 1.47% の試料の

第 6 表 Ni 1.91%, C 0.80% 鋼

		水焼入			
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備	考
750°	周	邊	375	T+M+C	
	中	央	300	T+M 少+C	
800°	周	邊	860	M+C+(A)	} 周縁より 3mm 位 より T を示はす
	中	央	475	T+M 少+C	
850°	周	邊	830	M+(A)	} 周縁より 3mm 位 より T を示はす
	中	央	530	M+T 微	
900°	周	邊	825	M+(A)	} 周縁より 3mm 位 より T を含む
	中	央	565	M+T 少	
950°	周	邊	810	M+(A)	} 周縁より 3mm 位 より T を混ず
	中	央	680	M+T	
油 焼 入					
750°	周	邊	275	T+C	
	中	央	275	T+C	
800°	周	邊	400	T+M 少+C	} 周縁より 1mm の ところは既に少量 の M を含む T の地 となる
	中	央	360	T+M 少+C	
850°	周	邊	570	M+T 少+C	
	中	央	420	T+M+C	
900°	周	邊	570	M+T 微	
	中	央	430	T+M 少	
950°	周	邊	725	M+T 微	} M は稍 A を含む様 なり
	中	央	440	T+M 少	

注意：P パーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

如く焼入効果は見出し得ない、周縁と雖も其組織は大部分のトルスタイトの地にマルテンサイトを混ずるに過ぎない、而して周縁 1~2mm より急に硬度の低下を現はし中

中央では少量のマルテンサイトを見出すのみ、中央部に於ける硬度は  $Ni$  1.47% の試料と略同様であるが周縁は遙かに劣る、同温度から油に焼入れたものは  $Ni$  1.47% の試料に比すれば全體としては硬度は増加してゐるが周縁と中央との硬度差は殆ど認め難い、800°C で水焼入れしたものは周縁の硬度は  $Ni$  1.47% の試料よりも稍低く、亦中央に及ぼす影響も少い、然も其硬度数は遙かに低い(第7及8圖比較参照)。

850°、900° 及び 950° と焼入温度を漸次上昇せしめる時は中央部に於ける硬度の増加は他の試料と同様であるが周縁と中央との硬度の差は可なり著しく、内部に及ぼす焼入硬化は  $Ni$  1.47% のものに比して少い。

又油焼入にあつては 800°C では周縁にマルテンサイトの組織を見出し中央部にも微量のマルテンサイトを有す、併し周縁と中央部との硬度の差は極めて少い、850°、900° 及び 950°C では周縁、中央何れも總體的に硬度は増加し従て内部に及ぼす硬化作用も増大されるが  $Ni$  1.47% の時の如く顯著ではない。

第5, 6, 7 及び 8 圖を通覽するに鋼の焼入硬化に及ぼす  $Ni$  の影響は本實驗に用ひた試料の  $C$  含有量が 0.8~1.2% に變化してゐるために嚴密な比較は出來ないけれども  $Ni$  の添加に由て焼入効果を増すことが知られる。又 800°C 以上の温度より水焼入したるものは  $Ni$  の増加と共に其硬度数は總じて減少の傾向を示はしてゐる、是れは殘留オーステナイトの量が増加するに基因するものと考へられる。

VI. クローム鋼:—前記の炭素鋼に  $Cr$  を 0.53%, 0.99%, 1.49% 及び 2.02% の4種に加調し前同様の實驗方法を施行した。

(1)  $Cr$  0.53%,  $C$  0.83% 鋼:—第3圖b 曲線 2 に示すが如く  $Ac_1$  は 746° に始まり 784° に終はる、普通炭素鋼に比して  $Ac_1$  の始まる温度は殆ど同様であるが終りの點稍高きを示し、一定速度の加熱にあつては  $Ac_1$  區間は  $Cr$  の添加によつて擴大される、従てそれだけ高い温度でなければ焼入の効果は少い、然ながら  $Cr$  自身は地鐵及びセメンタイト中に幾分溶解して低温度よりの急冷によつても總體的に硬度数は上昇して來る、第7表及び第9圖に見る如く、750°C では冷却速度の如何に關せず水焼入又は油焼入何れでも硬度數に變りなく全體的に上昇を示してゐる、800° で處理したものは水焼入では周縁はマルテンサ

第7表  $Cr$  0.53%,  $C$  0.83% 鋼

水焼入					
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備	考
750°	周	280	S		
	中	280	S		
800°	周	460	M+T+C		
	中	330	T+M少+C		
850°	周	900	M+(C)	}	周縁から 4mm 位から T を析出す
	中	525	T+M		
900°	周	890	M	}	細き M 總じて hair crack あり
	中	835	M+T 少		
950°	周	865	M+(A)	}	9mm 附近から T を出す、所々に hair crack あり
	中	845	M+T 微		
油 焼 入					
750°	周	280	P	}	周縁 2~3mm 間は層状 P なり
	中	280	P		
800°	周	300	T+C	}	中央の T は martensitic である
	中	315	T+C		
850°	周	700	M+C+T 微	}	周縁から 1mm のところで相當の T あり
	中	415	T+C+M		
900°	周	865	M+C+T 少	}	周縁 1mm に既に T あり
	中	480	T+M+C		
950°	周	865	M+T 微	}	周縁 1mm のところに既に T あり
	中	655	M+T 少		

注意: P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示はす。

イトの地に少量のトルスタイトを含むが中央は反對にトルスタイトの地に少量のマルテンサイトを含む、硬度は周縁より 1~2mm の間は相當の硬さを有してゐるがそれより急に低下し中心部までは一樣な硬度を示す。同温度よりの油焼入にあつては周縁より 3mm 附近までは稍腐蝕され易きマルテンサイトのトルスタイトで、中央に比して炭化物稍少い、中心部も一樣にマルテンサイトのトルスタイトであつて硬度は周縁が中心部よりも却て低いのは炭化物が稍低いためと考へられる。

焼入温度の上昇と共に焼入効果の顯著なることは第9圖に見る如く、特に 900° 及 950° の水焼入にあつては中央まで殆ど一樣の高い硬度を示してゐる、(此場合と雖も表面から 5mm の切斷面に於ける硬度分布状態である) 而して切斷面を更に中心部に向つて採り、硬度分布状態を検することは興味あることである。焼入効果の最も顯著である周縁にあつては 850° 以上焼入温度の上昇に伴ひ硬度数は減少す、油焼入の場合には硬度は焼入温度の上昇と共に増加するが周縁 1~2mm 附近より内部は急に低下す、中心部の硬度も焼入温度の上昇につれて増加するが 850° 及 900° よりの油焼入は略同形の分布を示し、950° だけは稍趣を異にすること第9圖の通りである。

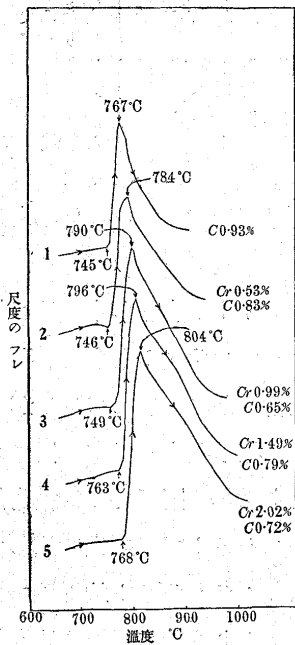
(2)  $Cr$  0.99%,  $C$  0.65% 鋼:—此試料の  $Ac_1$  點は

第8表 Cr 0.99%, C 0.65% 鋼

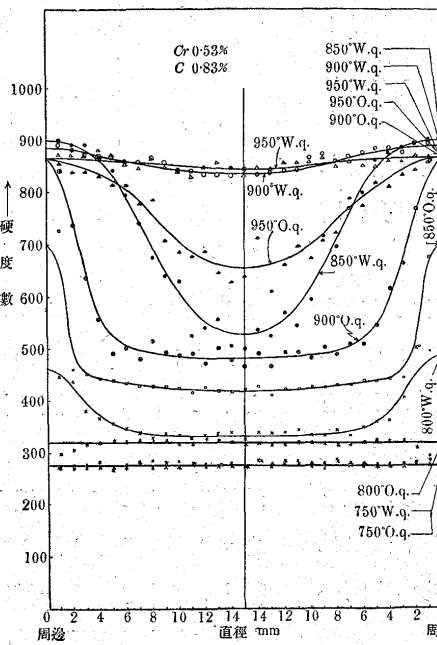
水焼入					油焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備考	焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備考
750°	周 邊	190	P	全部粒状Pなり	750°	周 邊	210	S+C	周 邊のCは中央に比して稍少い
	中 央	190	P			中 央	210	S+C	
800°	周 邊	890	M+C	9mm 附近よりTを出す	800°	周 邊	210	T+C	
	中 央	750	M+T少+C			中 央	210	T+C	
850°	周 邊	910	M+C	中央に近く crackあり	850°	周 邊	835	M+C	3mm 附近からTを見る
	中 央	845	M+C			中 央	610	M+T少	
900°	周 邊	875	M+C	Cは850°に比して少し所々に crackあり	900°	周 邊	875	M+C	4mm 附近に微量のTあり
	中 央	860	M+C			中 央	835	M+T微	
950°	周 邊	850	M+C微	crackあり	950°	周 邊	860	M+C	900°に比してC少く5mm 附近からTを見る細き crackあり
	中 央	825	M+C			中 央	820	M+C+T微	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示はす。

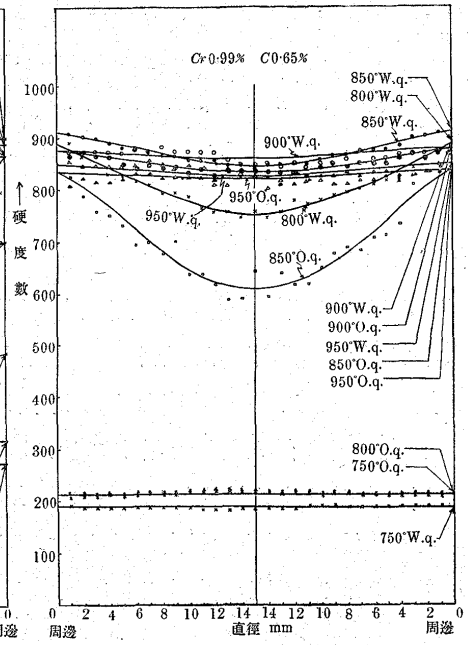
第 3 圖 b



第 9 圖



第 10 圖



第3圖b 曲線3 に示すが如く 749° に始まり 790° に終る、又此試料についての實驗結果は第8表及第10圖に示す、従つて 750° 水焼入並に 750° 及 800° の油焼入に於ては焼入効果は認めがたいこと第10圖の通りである、800° の水中焼入に於て始めて充分なる焼入効果を現はし、油中焼入では 850° から有効となる、蓋 Cr は加熱温度が高ければ冷却速度が多少遅くとも Ar<sub>1</sub> 變態を阻止し易いためである、併し 800° 水焼入及 850° 油焼入の場合には猶周邊よりも中央部に進むに従て硬度が低い。

850° 以上よりの水焼入及び 900° 以上よりの油焼入に於ては周邊と中心部との硬度の差少く、唯 850° 水焼入、900° 油焼入に於ては少しく周邊と中心部との硬度差を認める、此クローム鋼試片は 900°、950° よりの水焼入、950° よりの油焼入に於て所々に微細なる焼割を生じたる

ものがあつた。組織は概して非常に細きマルテンサイトで焼入温度低いものには微細粒の炭化物が一樣に散布してある。

(3) Cr 1.49%, C 0.79% 鋼: 一此試料の Ac<sub>1</sub> は 763° ~ 796° である、(第3圖b 曲線4)、従て第11圖及び9表に示すが如く 750° よりの焼入では水、油何れも効果が

第9表 Cr 1.49%, C 0.79% 鋼

水焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備考
750°	周 邊	215	P+C	周 邊のPは粒状化し、中央のものは層状を呈するもの多し
	中 央	215	P+C	
800°	周 邊	690	M+C	T 中のCは凝集す
	中 央	520	M+T+C	
850°	周 邊	920	M+C	中央に近く crack多し
	中 央	855	M+C	
900°	周 邊	880	M+C	所々に crackあり
	中 央	845	M+C	

温度	位置	硬度	組織	備考
950°	周	855	M+C	Cは温度の上昇と共に漸減す 所々に crack あり
	中	835	M+C	
油 焼 入				
750°	周	215	P+C	周縁のPは粒状化し、中央は層状なり
	中	215	P+C	
800°	周	560	M+T少+C	所々に hirack あり
	中	345	T+M+C	
850°	周	815	M+C	4~5mm 附近より Tを出す
	中	755	M+T少+C	
900°	周	880	M+C	中央のCは周縁より少し
	中	845	M+C	
950°	周	840	M+C	周縁のC細く、量も少し、中央のCは凝集状態なり所々に crack あり
	中	810	M+C	

注意：Pはパーライト、Sはソルバイト、Tはトルスタイト、Mはマルテンサイト、Aはオーステナイト、Cは炭化物を示す。

ない、800°以上よりの焼入に於て其効果を表はしてゐるが水と油との場合では相當の差異が認められる、圖に見る

如く油焼入の方は周縁から1~2mmで急に硬度が低下するが水焼入の場合は、徐々に中心に向つて降下す、850°よりの水焼入は此試料に於ける最高の硬度を示し、同温度より油に焼入た場合は冷却速度が遅いため少しく硬度が低い、900°及び950°より焼入れたものは水又は油何れも餘り變りなく又内部まで殆ど一様の硬度を示す、是等の顕微鏡組織は750°焼入に於ては全面粒状パーライトであるが800°に於ては水、油焼入共に、中心部は稍焼戻の進だマルテンサイトの地にトルスタイト及び粒状セメンタイトを有し、周縁はマルテンサイトにトルスタイトを含む、850°~950°のものでは周縁、中心何れもマルテンサイトと炭化物の組織で、水焼入では微細な焼割が認められ、油焼入にあつては950°の場合に焼割を認めた。

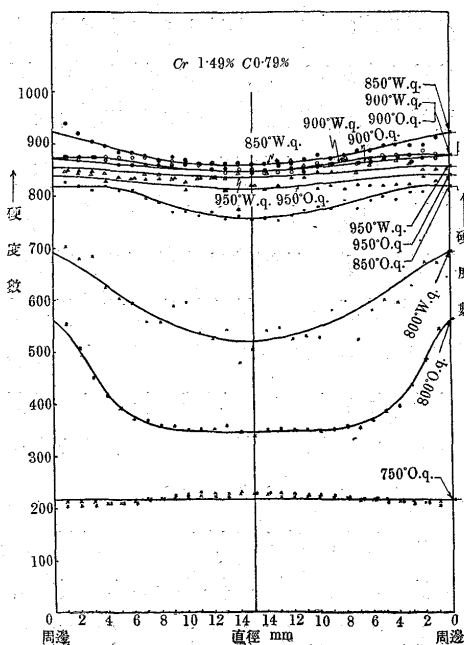
(4) Cr 2.02%, C 0.72% 鋼：一此試料の Ac<sub>1</sub> は第3圖b 曲線5に示すが如く768°に始まり804°に終は

第10表 Cr 2.02%, C 0.72% 鋼

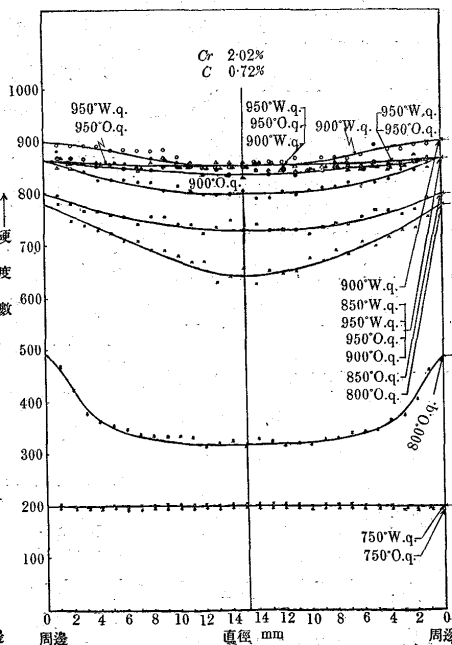
水 焼 入					油 焼 入				
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備 考	焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備 考
750°	周	200	P+C	周縁は大體粒状P中央には層状のものもあり	750°	周	200	P+C	水焼入の場合と同じ
	中	200	P+C			中	200	P+C	
800°	周	775	M+C	周縁から2mm位よりTを混ぜず	800°	周	490	M+C少+T	2mm 附近より Tを混ぜず
	中	640	M+T少+C			中	315	M+T+C	
850°	周	865	M+C	所々に crack あり	850°	周	800	M+C	2mm 附近より Tを混ぜず
	中	800	M+C			中	725	M+T微+C	
900°	周	900	M+C	所々に crack あり	900°	周	865	M+C	Cの量非常に少し
	中	850	M+C			中	835	M+C	
950°	周	865	M+C	Mの針大分大となる	950°	周	865	M+C	Cの量非常に少し
	中	850	M+C			中	850	M+C	

注意：Pはパーライト、Sはソルバイト、Tはトルスタイト、Mはマルテンサイト、Aはオーステナイト、Cは炭化物を示す。

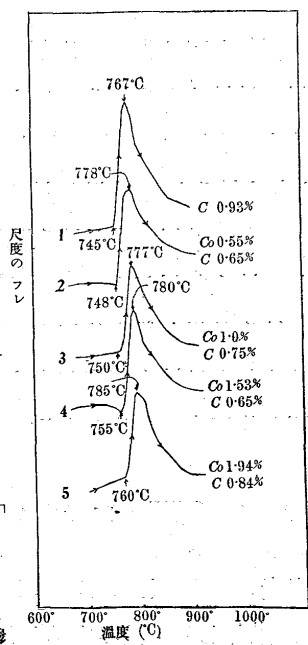
第 11 圖



第 12 圖



第 3 圖 c





る又此焼入による硬度分布は第 12 圖に見る如く、其顯微鏡組織等は第 10 表に示す 750° より焼入れたものは Cr 1.49% の試料と同様に水、油何れも焼入の効果なく硬度も亦内部と周邊とは同程度のものである。800° より焼入れて始めて焼入効果を示す様になるが水と油とでは其硬度に於て格段の差異がある、即水焼入では周邊 780 を有し、それより漸次減少して中心では 640 程度となるが油焼入の場合では周邊 490 で内部に向ふに従て直に激減し 5mm 附近からは硬度變らず、中心は 320 である、850° より焼入れたものは水油共に其硬度の分布状態は同様の形であるが其硬度數に於て水焼入の場合は油焼入の場合よりも約 70 の差がある、900° 焼入では水油何れにても大差なく其分布状態も亦前者と同様同形であるが此場合には水に焼入れたものの方が油に焼入れたものよりも硬度數に於て約 30 高い、950° 焼入では水焼入でも油焼入でも周邊の硬度は、850° 水焼入の時と其硬度殆ど等しく内部に向ふに従て少しく低下し 6mm 附近より内部は變らない。

顯微鏡組織に於ては 750° 焼入の場合には粒狀パーライトであるが 800° 以上より焼入したものは何れも中央に少量のトルスタイトを含むのみで周邊はマルテンサイト及炭化物より成る、水焼入では 850° 以上、油焼入では 900° 以上より焼入したものは中央にもトルスタイトがない、尙 Cr 1.49% の鋼に比し 950° より水焼入したものは前者程焼割がない。

以上實驗結果によれば Cr は C 鋼に於ける A<sub>1</sub> 變態を上昇せしむる性質を有するに由てそれだけ焼入温度を高くせなければ焼入効果が表はれ難い、又 Cr を添加するとき Ar<sub>1</sub> 變態を阻止するため割合に冷却速度遅くとも硬化する、従て油焼入と水焼入とによる硬度の差が少くなり、又冷却速度の遅い内部までもよく硬化することとなる、800° より水焼入した結果を見ると 0.53% Cr 試料よりも 0.99% Cr 試料の方が焼入効果著しいが 1.49% Cr 試料は却て焼入効果が少いのは Cr の添加が Ar<sub>1</sub> 變態を阻止して焼入効果を増す作用と Ac<sub>1</sub> 點の上昇のために焼入効果はそれだけ焼入温度が高くなければ表はれ難いといふ兩原因が作用するためである。

### VII. コバルト鋼

普通炭素鋼に Co を 0.55%, 1.00%, 1.53% 及び 1.94% を夫々添加し前同様の實驗を行つた。

第 11 表 Co 0.55% C 0.65% 鋼

		水焼入			
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備	考
750°	周 邊	225	S+C	}	周邊と中心部との中間はよく發達した層狀 P なり
	中 央	225	S+C		
800°	周 邊	910	M+C	}	周邊より間もなく T を混入す
	中 央	425	T+M 少+C		
850°	周 邊	910	M+C	}	周邊 2mm 位から T を混入す
	中 央	460	T+M 少+C		
900°	周 邊	910	M	}	周邊 2mm より T を混入す
	中 央	505	T+M 少		
950°	周 邊	890	M	}	周邊 3mm より T を混入す
	中 央	540	T+M 少		
油 焼 入					
750°	周 邊	215	P+C	}	
	中 央	215	P+C		
800°	周 邊	350	T+M 少+C	}	
	中 央	325	T+M 少+C		
850°	周 邊	495	M+T 少	}	周邊 1mm より M の量激減す
	中 央	435	T+M 少		
900°	周 邊	520	M+T	}	1mm 内部に入れば T 多く、M 少となる
	中 央	455	T+M		
950°	周 邊	540	M+T	}	
	中 央	455	T+M		

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

(1) Co 0.55%, C 0.65% 鋼：一此試料の Ac<sub>1</sub> は第 3 圖 c 曲線 2 に示すが如く 748° に始まり 778° に終はる、Co は Cr と同様に Ac<sub>1</sub> を上昇せしめる性質を有す従て Co の加調により低温度では焼入結果は現はれ難い筈である、従て第 13 圖及び第 11 表に示すが如く 0.5% 程度の Co を含有するものでは、750° に於て焼入れたものは水油共に其効果なく、800° より焼入して始めて焼入の効果は現はす様になる、即ち 800° より水焼入すると周邊はマルテンサイト及炭化物で中心はトルスタイトの地に少量のマルテンサイトを含有す、併し油に焼入れた場合には總體的に相當焼戻されたマルテンサイト組織にトルスタイトと炭化物を含有し硬度の分布状態は第 13 圖に示す如くなる。それより焼入温度を上昇せしめ 850°, 900°, 950° となれば水に急冷したものは周邊は充分硬化し其硬度は殆ど一致す、中心の硬度は低く、焼入温度と共に増加する、又油の場合では周邊 2~3mm の附近に稍硬度の増加を表はすのみで内外共に硬度が低い、周邊の組織は多少焼戻されたマルテンサイトでそれに少量のトルスタイトを含む、又中央は少量のマルテンサイトを含有トルスタイトである。

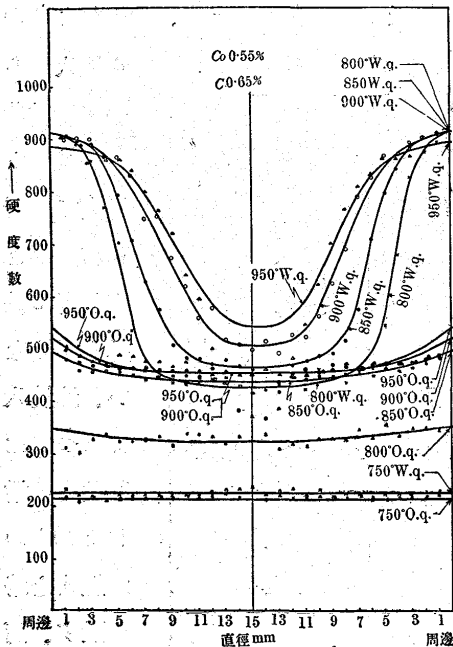
此の如く Co の添加は焼入効果を減じ、油焼入では其効果がないことは、Co は Ar<sub>1</sub> 變態を起り易くするためであつてそのことは檢鏡上パーライトのよく發達せるに由て

第 12 表 Co 1.00%, C 0.75% 鋼

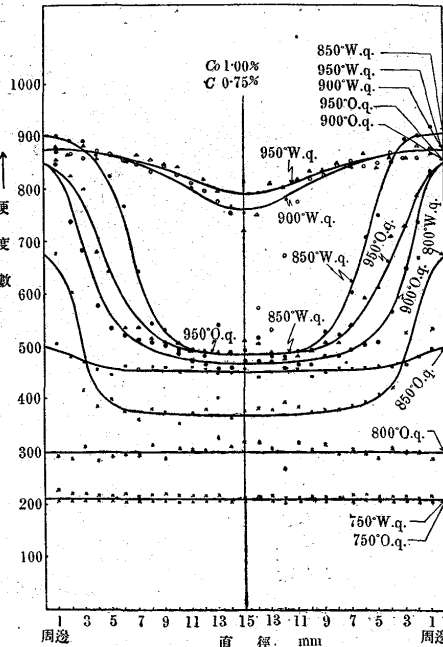
水焼入					油焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考	焼入温度	測定場所	硬度	顕微鏡組織	備 考
750°	周 邊	210	P+C	P は Co 0.5 の ものより大なり	750°	周 邊	210	P+C	
	中 央	210	P+C			中 央	210	P+C	
800°	周 邊	675	M+T 少+C		800°	周 邊	300	P+C	中央に S 多し
	中 央	370	T+M 少+C			中 央	300	S+C	
850°	周 邊	900	M+C	3mm 位より T を混す	850°	周 邊	500	M+T 少+C	周 邊より 4mm 附近より M を 見す
	中 央	485	T+M 少+C			中 央	450	T+C	
900°	周 邊	875	M	6mm 位より漸 やく T を混す	900°	周 邊	850	M	1mm 内部には 少量の T を見る
	中 央	760	M+T			中 央	470	T+M 少	
950°	周 邊	875	M	周 邊に crack あ り、4mm 附近 より T を混す	950°	周 邊	850	M	
	中 央	790	M+T 少			中 央	485	T+M 少	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

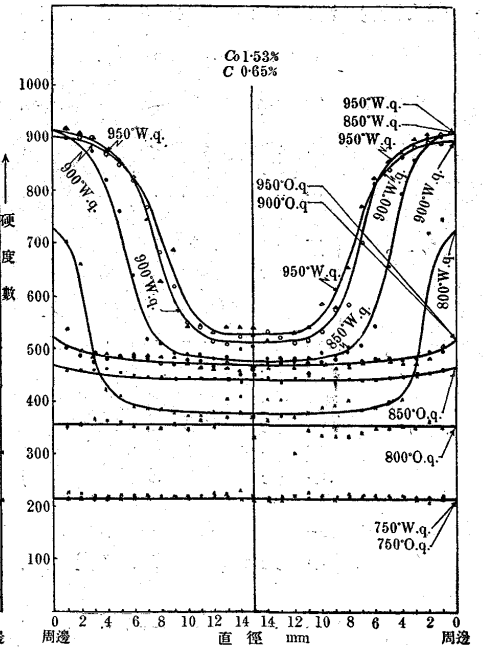
第 13 圖



第 14 圖



第 15 圖



も知られる、即 750° より水焼入れしたもの、又は 800° より油焼入れしたもの等は普通炭素鋼の焼鈍したものに見るが如き美しき共析晶を示す、又中心部の冷却速度の稍遅き部分にあつては硬度は同一温度から焼入れした普通炭素鋼よりも低下したる結果を生ずる、周邊 4~5mm 附近では 850° より水焼入れしたものが硬度数最も高く、其れより焼入れ温度の上昇と共に硬度は漸次減少の傾向を示す。

(2) Co 1.00%, C 0.75% 鋼：一此試料の Ac<sub>1</sub> 變態點は第 3 圖 c 曲線 3 に示すが如く 750° に始まり 777° に終る、又焼入硬度の分布は第 14 圖、檢鏡結果は第 12 表に示すが如く 750° より焼入れたものは水油兩者とも其効果は認められない、800° より水焼入れしたものは周邊に相當の效果を示す、組織はマルテンサイトの地に少量のトルスタイトを含むもので之れに相當量の炭化物を析出す、

又中心部は大部分トルスタイトであるが少量のマルテンサイト及び炭化物を含む、又同温度より油に焼入れしたものは 750° 焼入のものよりも少しく硬度の増加を示すだけで周邊に於てもマルテンサイトの組織は認めがたい。850° より焼入れたものは水油共に焼入效果を示すが油に焼入れたものは硬度数遙かに劣る、即水の場合は周邊 900 の硬度数を有するが油の場合は周邊僅かに 500 を有するのみ而して水焼入の場合は周邊より 3~4mm 附近より急激に硬度数減少し中心より 4~5mm のところでは殆一様で 490 の硬度を有す、又油焼入の場合は周邊より漸次低下し 4~5mm よりは一様となり 450 の硬度数を示す。

900° 及 950° より焼入れたものは周邊の硬度数は、850° 水焼入の場合よりも少しく低いが内部に及ぶ硬化は第 14 圖に見る如く著しくなる、其周邊の硬度数の低減は

温度の上昇と共にオーステナイトの混入及び結晶粒の増大等によるものと考へらる。油焼入では周邊丈けは水焼入の場合に匹敵する硬度を示すが内部に進むに従てトルスタイトの量増加し 850° より水或は油に焼入したる中心部と大差なきものとなる、顯微鏡組織も中心部はトルスタイトの地に炭化物及極少量のマルテンサイトを含有す。

(3)  $Co\ 1.53\%,\ C\ 0.65\%$  鋼:—此試料の  $Ac_1$  は第 3 圖 c 曲線 4 に示すが如く 755° に始まり 780° に終はる、又焼入硬度の分布は第 15 圖、又檢鏡結果は第 13 表に示すが如く  $Co\ 1.00\%$  のものと同様、750° より焼入

第 13 表  $Co\ 1.53\%,\ C\ 0.65\%$  鋼

水焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備考
750°	周 邊	215	P+C	P は多少粒状化してゐる
	中 央	215	P+C	
800°	周 邊	725	M+T 少+C	所々に P を見る
	中 央	575	T+M 少+C	
850°	周 邊	900	M	2mm 附近より T を混入す
	中 央	475	T+M 少	
900°	周 邊	900	M	2~3mm より T を混入す
	中 央	510	T+M	
950°	周 邊	910	M	
	中 央	525	T+M	
油 焼 入				
750°	周 邊	215	P+C	
	中 央	215	P+C	
800°	周 邊	355	S+P+C	
	中 央	355	S+P+C	
850°	周 邊	460	T+C	周邊の T は概して martensitic なり
	中 央	440	S+C	
900°	周 邊	520	M+T	周縁は少量の T を混入する M ながらも 1mm 入れば少量の M を含む T となる
	中 央	465	T+M 微	
950°	周 邊	520	M+T	周邊より 1mm に於て T の地に少量の M を含む
	中 央	465	T+M 少	

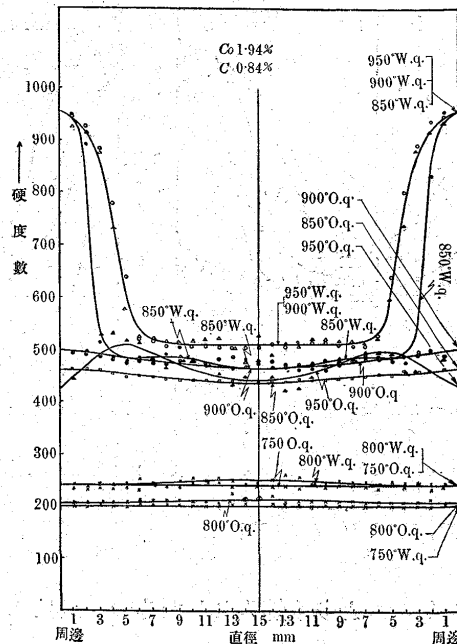
注意: P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示はす。

れたものには焼入効果が認められない、800°C より水焼入したものは効果があるが油焼入の場合は全然其効果がない、又水焼入の結果を  $Co\ 1.00\%$  のものと比較すると周邊より中心に及す硬化度、及内部に於ける硬度は殆ど同様であるが周邊の硬度数は  $Co\ 1.53\%$  のものが少しく高い、又油の場合には周邊、内部共に一様の硬度であるが  $Co\ 1.00\%$  のものに比すれば全體的に硬度は増大してゐる、尙ほ是等の顯微鏡組織に於ては水焼入のものは周邊にはマルテンサイト多く中心には少量のマルテンサイトを見出すことが出来るが油焼入のものは周邊に於てもマルテンサイトは認めがたい。

850° 以上より水焼入したものは内部に及す焼入効果は少ないが周邊は充分硬化し 850°, 900°, 950° 共何れも周邊より 2~3mm までは一様の硬度を示し、それより内部に進むに従て急激に硬度の低減を示す。又 850°, 900° 及び 950° よりの油焼入にあつては周邊でも充分硬化せず、組織は周邊に於ても少量のマルテンサイトを認めるのみで、内部はソルバイトである、900° 及び 950° の油焼入にあつては同一硬度となり、850° よりの油焼入に於ては總體的に稍低下してゐる、猶此試料に於ても焼入温度の上昇と共に内部の硬度は漸次上昇してゐることが見られる。

(4)  $Co\ 1.94\%,\ C\ 0.89\%$  鋼:—此試料の  $Ac_1$  は第 3 圖 c 曲線 5 に示すが如く 760° に始まり 785° に終はる其焼入結果は第 16 圖及び第 14 表に示す、750° よりの

第 16 圖



水焼入にあつては粒状パーライト組織で周邊及び内部とも硬度に差異を認めない、油焼入にあつては稍硬度を増し 800° の水焼入と略一致す、而して組織は周邊よりト

第 14 表  $Co\ 1.94\%,\ C\ 0.84\%$  鋼

水焼入				
焼入温度	測定場所	硬度	顯微鏡組織	備考
750°	周 邊	200	P+C	粒状 P となる
	中 央	200	P+C	
800°	周 邊	240	P+T+C	中央 T 多く、P は粒状化す
	中 央	250	T+P+C	
850°	周 邊	955	M+T 微+C	3mm 位で T の地となる
	中 央	460	T+M 微+C	
900°	周 邊	955	M+T	周縁には少量の T を含む M ながらも 1mm では M 丈けとなり 3mm より急に T を増す
	中 央	510	T+M 微	
950°	周 邊	955	M	
	中 央	510	T+M 少	
油 焼 入				
750°	周 邊	240	P+C	周邊より T→S→P の順に中心に向ふ
	中 央	240	P+C	

800°	周	205	P+T+C	} 同温度より水焼入 のものと同様
	中	215	T+P+C	
850°	周	460	T+M 微+C	}
	中	435	T+C	
900°	周	500	T+M 微	} Mは判然區別し難 し
	中	460	T+M 微	
950°	周	425	M	} 着色され易き M 硬度は周より 4~5mm に極大を 示す
	中	440	T	

注意：P はパーライト、S はソルバイト、T はトルスタイト、M はマルテンサイト、A はオーステナイト、C は炭化物を示す。

ルスタイト、ソルバイト及びパーライトの順に中心に向つて變化してゐるが硬度の分布状態は周邊も中央部も殆ど一様で焼入効果は全く認められぬ、而して 800° の水焼入に於ては組織は粒状パーライト多く所々にトルスタイトを出すのみ、850°、900°、950° 等の高温より焼入れたものは周邊の硬度は何れも同様で充分硬化してゐるが周邊から 1-2mm より激減し中央は一様の硬度を有す、其組織は周邊はマルテンサイトであるが内部はトルスタイトの地に少量のマルテンサイトを含むものである。併し Co 1.00% 及び 1.53% のものに比すれば周邊丈の硬度は一層高く 950 を示す、又 850° 及び 900° より油焼入したものは内外の硬度の差少く唯總體的には 900° の方が高い、950°

より油焼入したものは周邊より 5mm 位までは次第に硬度を増加しそれより漸減して中央は又周邊と略同様の硬度となる、組織は 850° の油焼入では周邊は微量のマルテンサイトを含むトルスタイトで且全面に細き炭化物を見る、900° ではマルテンサイトの組織を明かに見出すこと困難であるが全體的には焼戻されたマルテンサイトである、950° 焼入のものは周邊より 5mm 位までは組織の上ではマルテンサイトの稍焼戻された状態のもの多く中心の組織は殆どトルスタイトである。

以上の實驗結果から考察すると Co は Ar<sub>1</sub> 變態を阻止する作用なくパーライトの發達を促し Cr とは反對に炭化物の析出を容易にする、其結果冷却速度が少しく緩慢となれば直にオーステナイト→トルスタイト→パーライトにまで進行し焼入効果が表はれないのである、即 Co の増加と共に冷却速度が非常に早くなければ硬化することは困難である、従て 850° 以上より水焼入したものは周邊は充分硬くなるにも拘らず稍冷却速度の遅い内部に入れば硬度は急激に低減し、又油焼入に依ては殆ど硬化すること困難である。(未完)