

# 特殊鋼の熱處理に就て

(昭和五年十月十二日 第4回研究部會(室蘭)に於て報告)

吉川 晴十

鋼に熱處理を施すのは組織をかへて所要の強度、硬度等を得る爲と鑄造、鍛鍊等による歪力を去り全體を均等のものとして信頼し得る材料を得る爲とである。そして特殊鋼の用ゐられるのは特殊の元素によつて強度を高める爲丈けの場合もあるが同時に熱處理を容易にする爲の場合が多い。従つて特殊鋼の熱處理は一面から云へば炭素鋼よりも却つて容易である可き筈である。只加へる特殊元素の種類によつて或場合にはニツケルの如くフェライトの中へ固溶體として入り或場合には滿俺の如く固溶體にもなるが炭化物にもなり又或場合にはタングステンの如く其の炭化物が非常に高い溫度でなければ固溶體にならぬと云ふ様に組織や性質が變化するから詳しく云へば各種の鋼について夫れ々々かなり異つた熱處理がある譯である。しかし私は茲には主として特殊鋼の熱處理に於て略々共通と思はれる二三の問題に就て述べる。

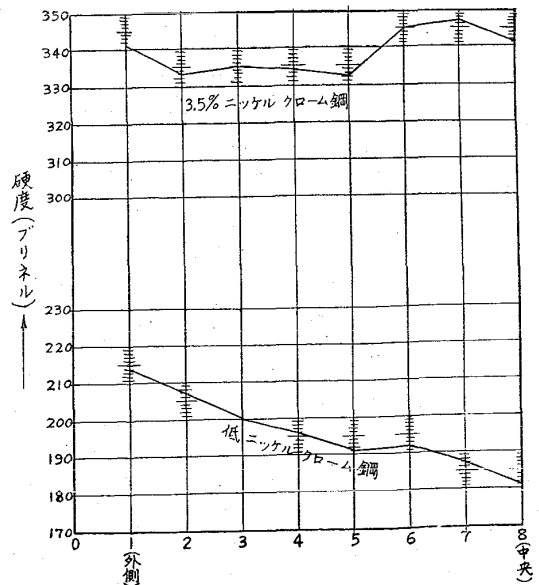
## 1. 熱處理に對する材料の大きさの影響

鋼に特殊元素を加へれば鋼の變態點の位置も變へるが一般に變態を起す作用を緩漫にするから加熱する場合急激に溫度を上げれば Ac 點が上りそれよりも一つと影響のはげしいのは冷却の場合急に冷却するのと緩に冷却するのとで著しく Ar 點がかわる故に一旦加熱して變態を起してしまへば冷却は炭素鋼の場合の如く非常に急がなくても焼入の目的を達し得られると云ふ事になる。焼戻の場合でも一寸焼き過ぎると全く柔かくなつてしま

うと云ふ様な恐れがない。砲身材料の如きも昔は炭素鋼であつたが強度を増す爲にニツケル鋼を使ひ之に適當なる熱處理を行つて居たのであるが、非常に大きなものになるとニツケル鋼を油焼したでは内部迄完全に熱處理の影響が及ばない。そうかと云つて水焼をすると云ふことは種々の困難が伴ふ、それで油焼で充分熱處理出来る様にと云ふ目的でニツケルクローム鋼が用ゐられる。此のニツケルクローム鋼とても未だ理想的のものとは云へぬ。寸法が大きくなれば内外の差がかなり起るから之を最小にする方法

第1表 油焼入に於ける内外硬度差

鋼種	1	2	3	4	5	6	7	8	試験位置
3.5%ニツケルクローム鋼 C=27 Ni=350 Cr=79	341	333	330	334	332	345	347	341	
低ニツケルクローム鋼 C=24 Ni=126 Cr=34	214	207	200	196	191	192	187	181	



を講ぜねばならぬ。

ニッケルクローム鋼の直径 230mm 長 300mm の圓筒を焼鈍後荒削をなし 850°C で 2 時間加熱し油焼入を施した後中央から割り其の横断面を研磨してブリネル硬度を測つた成績は第 1 表の通りで 3.5% ニッケルクローム鋼は内外あまりかわりがないが、低ニッケルクローム鋼は外側と中央とで硬度數 33 も差がある。

同じくニッケルクローム鋼で肉厚 330mm の圓筒を油で焼入焼戻した場合と水で焼入焼戻した場合と比較して見ると第 2 表 A に示す通り内外殆んど差を認めぬ。

水の場合には焼戻をしても第 2 表 B の如くブリネル硬度 30 乃至 40 位の差がある。そして此の位大きなものになると水でも油でも内部は殆んど同じである。

それ程大きくなくても強度高きを要し従つて焼戻温度の低い場合には内外でかなりの差があることは第 3 表でもわかる。

第 3 表  
ニッケルクローム鋼 (C=0.35, Ni=1.77) 熱處理後強度

符号	引張強さ Kg/mm <sup>2</sup>	降伏強さ Kg/mm <sup>2</sup>	伸率 %	断面縮 %	試験状態	
					Cup	B
1	870	1000	16.0	43.7	Cup	B 302
2	840	852	18.0	52.3	F	285
5	820	970	15.3	50.8	Cup	0 299
6	790	940	19.0	52.3	〃	A 298

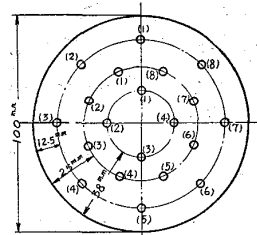
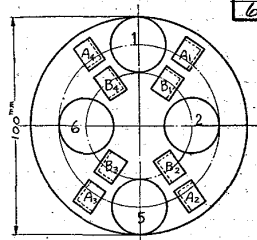
参考試験

符号	衝撃値 (KJ/m <sup>2</sup> )
A1	31.5 - 31.5
A2	33.0 - 29.5
A3	28.0 - 26.8
A4	31.6 - 31.0
平均	31.57 - 29.70

A 線平均 30.61 外

符号	衝撃値 (KJ/m <sup>2</sup> )
B1	39.0 - 33.3
B2	45.0 - 45.0
B3	36.0 - 39.0
B4	38.5 - 37.0
平均	38.88 - 38.60

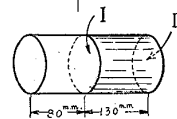
B 線平均 38.75 内



ブリネル硬度試験

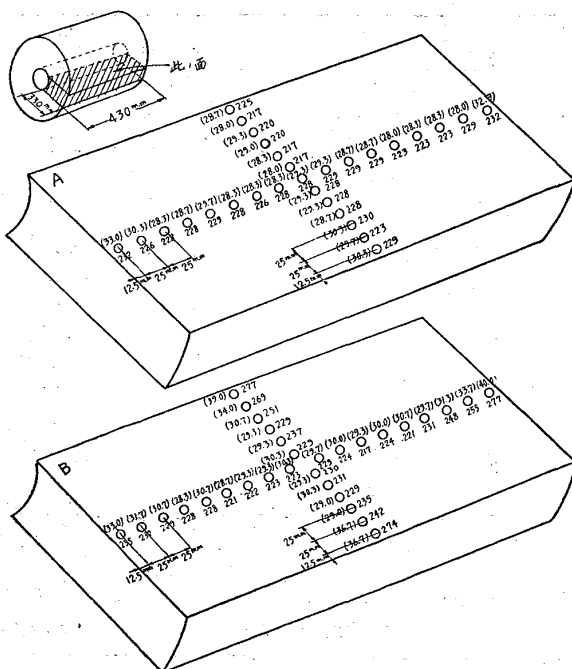
符号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	平均
25	308	306	306	321	302	321	302	302	309
26	272	272	283	283	277	268	277	277	277
28	269	266	266	269	269	269	269	269	269

符号	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	平均
25	302	283	306	302	311	311	293	301	301
26	271	272	283	272	282	271	269	271	271
28	271	269	269	269	270	270	270	270	270



第 2 表  
ニッケルクローム鋼 (C=0.28, Ni=3.39) 熱處理後強度

熱處理 { 850°C x 6 時間油冷  
600°C x 6.5 時間油冷  
數字ハブリネル硬度  
括弧内ノ數字ハジョア式スクロスコープ硬度



之は直径 100mm で半径の 1/4 を中心とした試験片と 1/2 及 3/4 を中心として試験片との比較をして見たのであるが外側の方が強度も硬度も少し高く衝撃値が低い。

材料試験に於て試験片は大低品物の端から取るのであるがそれから内部に入ればどの位強度が変わるか云ふ事を調べて見るとニッケルクローム鋼で油焼を行つたものは大してかわらない。ニッケル鋼ならもつと差が大きくニッケルクロームモリブデン鋼なら差が少ない。實例を挙げると第 4 表の通である。

長大な鍛鍊物は端と中央部とかなり強度が違いはせぬかと云ふ疑も起るが、現今の操業法では大

第4表 熱處理鍛材の端と内部との強度差

鋼種	試験片	降伏力 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面収縮 %	切斷位置	硬度	衝擊値 kg-cm	試験片位置		
ニッケル鋼 C=0.32 Ni=2.56	端	イ	58.0	75.2	16.5	32.2	C	22.3	27.3 26.0		
		ロ	61.0	78.3	16.5	33.8	C	24.1	21.6 25.0		
		ハ	56.8	75.0	17.8	38.7	C	22.3	26.2 21.5		
	平均	58.6	76.2	16.9	35.6	—	23.9	24.6			
	端 中央	イ	51.8	71.0	18.0	26.0	B	20.7	24.1 18.8		
		ロ	52.7	70.8	18.0	30.3	C	20.7	23.3 22.3		
		ハ	52.8	71.7	19.8	27.8	B	20.7	20.2 21.9		
	平均	52.4	71.2	18.6	28.0	—	20.7	21.8			
	端 差	6.2	5.0	2.1	7.6	—	3.2	2.8			
	ニッケルクロム鋼 C=0.21 Ni=3.79 Cr=0.72	端	イ	50.5	68.6	22.3	41.6	C	19.8	46.0 50.8	
			ロ	51.9	69.0	17.8	32.8	C	20.7	39.2 38.7	
			平均	50.6	68.8	19.1	37.2	—	20.3	43.7	
端 中央		イ	48.8	67.6	18.0	27.2	C	20.8	42.5 40.6		
		ロ	44.5	68.0	18.0	32.8	B	20.8	43.9 46.4		
		平均	49.1	67.8	18.0	30.0	—	20.7	44.6		
端 差		1.5	1.0	1.1	7.2	—	4.0	0.9			

した差がない。其の實例を擧げて見ると外徑 1,003 mm、内徑 784mm、長 3,630mmの筒を 3本續きに作ったものを熱處理後切斷して各端で材料試験を行つた結果は第5表に掲げる通り中央部は兩端の成績の略々平均であつた。

品物が大きくなると普通のニッケルクロム鋼でも油焼入で完全に焼入効果を與へることが困難になる。此の場合クロムを増すとかモリブデンを加へるとか云ふことも焼入効果を増進する方法であるが甚だしく肉厚の大なるものでなければ水焼をすると云ふことも他の一方法である。水焼をすればしかし前述の如く内外の差が大になる。缺點がある。焼入効果を大にし而かも此の差を小にするには水焼後更に油焼を施し然る後に焼戻を行ふとよい。第6表に掲ぐるものはニッケルクロム鋼について此の種實驗を行つた一例で水焼を行つたものは延伸及断面収縮が明かに改善せられて居る。

第5表 長大なる鍛材の端と中部との強度比較

材質低ニッケルクロム鋼 (C=0.32, Ni=1.61)  
熱處理 800°C x 15分 油冷  
600°C x 15分 水冷

試験片位置	降伏力 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面収縮 %	切斷位置	硬度	衝擊値 kg-cm	試験片位置圖	
I	イ	45.0	68.6	23.0	33.8	F	C	21.7	
	ロ	47.5	72.5	24.3	33.8	"	B	24.1	
	ハ	47.0	69.5	23.0	33.8	"	—	32.2 37.5	
	ハ <sub>2</sub>	47.0	72.5	22.8	31.8	"	A	—	
II	イ	47.0	72.0	20.6	41.6	F	B	24.1	
	ロ	46.0	72.0	20.0	41.6	"	"	25.5	
III	イ	47.5	72.6	18.5	41.0	F	B	22.3	
	ロ	46.5	73.0	15.7	25.3	FLG	A	25.5	
IV	イ	52.0	75.0	20.1	42.4	F	B	24.1	
	ロ	50.0	75.0	20.0	45.4	"	"	24.1	
	ハ <sub>1</sub>	50.0	75.0	18.0	34.0	FSW	—	25.2 23.6	
	ハ <sub>2</sub>	50.0	75.0	20.7	35.2	F	—	22.0 25.0	
I+IV 2	48.6	72.9	21.6	46.7	—	—	23.5		
II+III 2	46.8	72.4	18.7	38.9	—	—	24.3		

第6表 水焼後油焼油戻を行ふ實驗

材質ニッケルクロム鋼 { C=0.26, Ni=3.63, Cr=0.67 }

熱處理	試験片	降伏力 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面収縮 %	断面状態	切斷位置	硬度	衝擊値 kg-cm		
T=800°C x 6分 M=730°C x 7分 A=BM 610°C x 8分 620°C x 8分	BM	イ	56.4	73.0	13.5	21.4	FL <sub>10</sub>	C	21.7	42.5 47.8	
		ハ	53.0	71.5	13.5	21.4	"	"	22.2	43.6 50.2	
	TB	ロ	55.0	73.0	14.5	21.4	"	"	21.5	37.8 40.9	
		ハ	54.3	72.6	15.0	24.0	"	"	22.0	44.6 51.3	
	平均	54.7	72.5	14.1	22.1				21.9	44.8	
	上記處理後 T=825°C x 5分 水冷 M=730°C x 7分 油中 A=630°C x 8分	BM	イ	50.0	69.3	22.5	40.5	FL <sub>10</sub>	A	20.7	44.4 48.6
			ハ	50.2	69.1	23.8	41.6	"	C	20.6	52.4 54.2
		TB	ロ	55.5	74.1	17.8	25.3	FL <sub>10</sub>	"	22.0	37.4 41.6
			ハ	52.5	72.9	18.2	29.0	FL <sub>10</sub>	"	22.0	37.8 37.6
		平均	52.1	71.4	20.6	34.1				21.3	45.0

大きな鍛鍊物の一端を截取つてそれで熱處理試験をなし其の結果から推して本體を如何に處理したらよいかと云ふ事を判斷する參考として次の實例を擧げる。

外徑 720mm の圓筒材から厚さ 32mm の圓板を截取り之に本體と略々同様の熱處理を施し只焼戻溫度を少しく高めて材料試験を行つた結果は第 7 表の如く焼入溫度は先づ同じと見て焼戻溫度を本體の方約 20°C 低くしても猶試片に對し本體は衝擊値が少しよくなつて居るばかりで其の他はすべて下つて居る、即ち小さな試片と同様の成績を得る爲には本體の熱處理に際して焼戻溫度を 20°C 乃至 30°C 低くする必要がある。

第 7 表 鍛材の一端より取りたる試片と本體との熱處理試験

材料	分析成分			熱處理 T=°C M=°C A=°C	材料試験成績						試験詳細
	C	Ni	Cr		引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	降伏強さ kg/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	破断強さ kg/mm <sup>2</sup>	破断延伸率 %	硬度	
A	0.26	0.66	0.72	T=820°C M=720°C A=620°C	53.7	70.3	19.0	34.6	21.2	52.2	試片適合
				T=835°C M=730°C A=630°C	47.5	66.8	14.8	27.0	20.3	34.5	
B	0.28	0.69	0.71	T=820°C M=720°C A=620°C	61.4	76.7	21.0	34.0	22.6	39.8	本體適合
				T=835°C M=730°C A=630°C	51.3	70.0	18.4	33.2	20.6	34.5	
C	0.27	0.66	0.71	T=820°C M=720°C A=620°C	57.6	72.3	19.5	31.5	22.9	46.7	本體適合
				T=835°C M=730°C A=630°C	49.7	66.9	13.5	24.0	20.7	32.1	
D	0.25	0.52	0.77	T=820°C M=720°C A=620°C	53.6	71.6	16.5	32.2	21.3	32.3	本體、試片均適合 試験条件均同
				T=835°C M=730°C A=630°C	56.6	73.3	15.3	28.1	21.6	47.0	
試片平均 (a)					56.6	72.0	19.0	34.6	22.0	47.8	
本體平均 (b)					51.3	69.3	15.3	28.6	20.8	32.1	
差 (a-b)					+5.3	+2.7	+3.5	+6.0	+1.2	+15.7	

2. 焼入溫度の高低による強度の變化

最良の焼入溫度としては一定の冷却方法に對して最高の硬度を得る如き所を選ぶべきで特殊鋼は變態が緩慢であるから一旦高溫度に熱したらば或は空中冷却或は油中冷却等成る可く急激ならざる冷却方法によつて所要の強度を得る方がよい。而してニッケルクロム鋼の如きは徐冷しても相當變態點が下降するから變態の起る近傍の溫度迄徐冷し然る後油中、水中等に投入して冷却すること

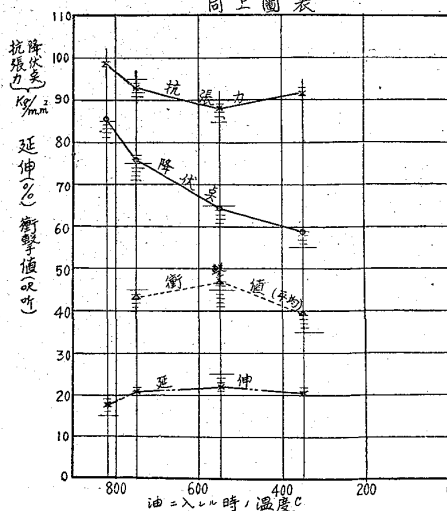
は焼入歪力を少なくすると云ふ點から場合によつては利用し得べき方法である。其の一例は試片を最高溫度 820°C に 30 分間保ちたる後爐中で冷却し 750°C、550°C 及 350°C で油中に浸し之を何れも 650°C で 2 時間焼戻して材料試験を行つた成績を第 8 表に掲ぐ

第 8 表

ニッケルクロム鋼急冷溫度の強度に及ぼす影響

試片	焼入溫度°C	急冷溫度°C	降伏強さ kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸率 %	破断強さ kg/mm <sup>2</sup>	破断延伸率 %	切斷位置	衝擊値 ft-lb	硬度
1	820	820	85.3	98.9	17.5	50.8	F	C	-	285
2	820	750	76.0	93.0	20.8	52.8	C4D	B	44.4 42.0	265
3	820	550	64.6	88.4	22.0	53.8	F	B	56.3 43.5	248
4	820	350	59.0	91.7	20.6	48.1	F	A	41.6 37.5	262

同上圖表



此の成績によつて見れば破断力延伸及衝擊値は殆んどかわりないが只弾性限が低溫度で油中冷却したものの方が著しく低いから此の方法は弾性限は低くなつてもいいから歪を少なくしたいと云ふ様な場合の外用ゐられない。砲身とか甲鉄とか比較的形狀の簡單なものは急冷による歪を考へなくてもよいが肉厚の不同が大きいものや仕上寸法に近いもの即ち削り代の少ないもの等を焼入する場

合には上述のことを考慮に入れて出来るだけ低温で急冷することに力めねばならぬ。

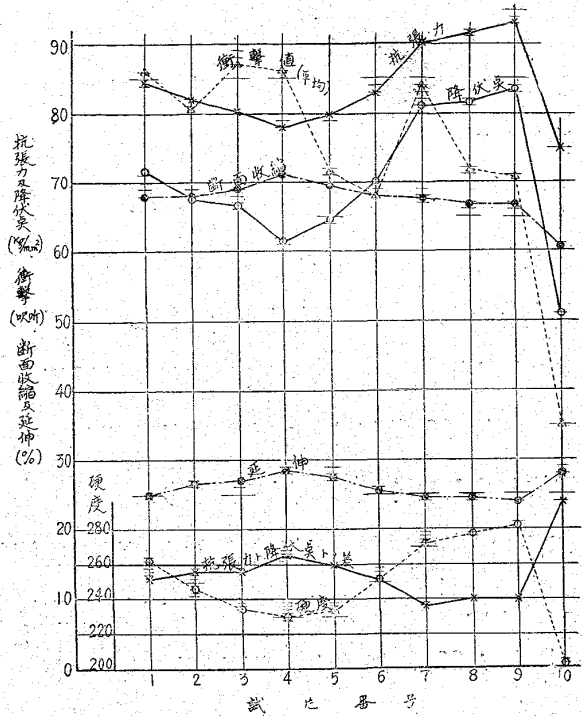
特殊鋼は概ね焼戻脆性を防ぐ爲に焼戻の際も油中等で急冷するから其の時の歪力をも考へねばならぬ。又細長くて且削り代の少ない材料は焼戻の際加熱中に曲つても困るから成る可く焼戻温度を低くしたいと云ふ様な場合もある。斯様な場合には一度焼入した後低温での中間焼入を施し然る後焼戻を行ふとよい。焼入は竪爐で材料を垂直に立て、焼くことが出来るけれ共焼戻は温度が低いから竪爐では温度の調整がうまく出来ず横爐でなくてはならない、従つて此の時には材料が曲り易いから成る可く焼戻は低温で行ひ度いのである。

中間焼入を行つた場合の材料試験成績は第9表に示す如く 730°C 即ち此の材料の  $A_{c1}$  直上で中間焼入をして 650°C で焼戻したものが最も強度が低く延伸や断面収縮が高い、此の試験は何れも 650°C で焼戻したのであるが斯様に 730°C あたりで中間焼入を行つたものは焼戻温度を 650°C よりも低くても丁度規格に適合する様な成績になる譯である。即ち中間焼入をすれば焼戻温度が低

第9表 中間焼入の影響  
材料ニツケルクロム鋼 ( $C=0.23$ ,  $Mn=0.89$ )

試料番号	熱入温度	焼戻温度	焼戻速度	延伸率 (%)	断面収縮 (%)	断面状態	切断位置	引張強さ (kg/cm <sup>2</sup> )	衝撃値 (kgm)	断面収縮率 (%)	記事		
1	850	700	650	71.3	84.2	24.8	Rd	B	262	84.4 87.4	86.0 12.9	試料 別試験用 径 25mm 長 150mm 衝撃試験用 12.5X25X100mm 焼戻条件、各 温度・時間 係+油中冷却	
2	850	710	650	67.8	87.9	26.3	68.1	Cup	E	246	79.4 81.3		80.9 14.1
3	850	730	650	66.3	80.1	26.8	68.9	Cup	B	235	87.9 83.9		86.0 13.8
4	850	730	650	61.5	77.8	28.5	70.9	Cup	A	229	87.4 84.2		85.0 16.3
5	850	740	650	64.7	78.5	27.5	69.3	Cup	A	233	71.5 71.7		71.6 14.8
6	850	750	650	70.0	82.9	25.5	68.1	F	B	252	68.4 67.0		67.0 12.9
7	850	780	650	80.9	90.0	24.3	67.7	Rd	B	272	82.5 83.3		83.6 9.1
8	850	800	650	81.5	91.4	24.3	66.8	Rd	B	277	71.3 72.0		71.6 10.1
9	850	850	650	83.9	93.9	24.0	66.8	Rd	B	283	70.5 70.8		70.6 10.0
10	800	850	650	51.0	75.0	27.8	60.6	F	A	201	34.7 35.6		35.0 24.0

同表 同表



くてよいと云ふ譯である。

此の中間焼入は又破断力と弾性限との差を大ならしめる爲にも應用出来る即ち此の処理をしたものはしないものよりも明かに破断力と弾性限との差が大きく之も  $A_{c1}$  の直上で中間焼入をした場合が最も著しい。

### 3. 焼戻したものを再熱する場合の變化

急冷處理をすれば成る可く低温でやつても多少は歪力が残る。此の歪力を除く爲に一旦熱處理をしたものを 300°C、400°C 等で熱することがある。此の作業が強度に變化を起さぬかと云ふ問題が起る。これは又焼戻の時に熱したり曲直しの時に熱したりする場合或は又砲身の如く使用中熱せらるゝものゝ場合に同様問題になることである。

下記は此の問題解決の爲の實驗の一例で 100°C 乃至 400°C の再加熱は寧ろ強度に好影響を及ぼすものであることを知る。

ニツケルクロム鋼で径 25mm・長 150mm の

試片及び 12mm 角、長 125mm の試片を作り焼鈍後 850°C で 1 時間加熱して油冷し次に 650°C で 1 時間焼戻して油冷した後 200°C、300°C、400°C、500°C 及 600°C に 1 時間加熱後空中放冷したものについて材料試験を行つた成績第 10 表の如く一般に 600°C 迄は強度を増し特に 400°C に於ける衝撃値の良好なるは注目し値す。

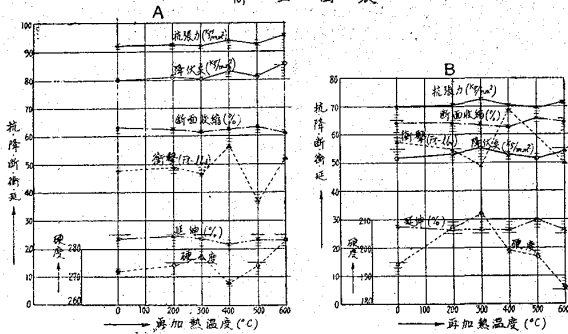
影響については研究を要する。低温度ではそれ程でなくても 400°C 以上の如き温度に於て相當長く熱せられたらばかなりの變化を起すやも知れぬ。

600°C 以上で再加熱した場合の結果は別の材料で試験したものを第 11 表に掲げる。

第 10 表 熱処理後再加熱の影響 (其の一)

材質	試験番号	再加熱温度及時間	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸 (%)	断面収縮 (%)	断面状態	切取位置	硬度 (HRC)	衝撃値 (呎呎)		
A ニッケルクロム鋼 C=0.30 Ni=0.30 Cr=0.29	1	+	50.0	92.1	23.4	63.1	Cup	C	27.2	48.0-47.0	68.5	
	2	200°C X 1	57.2	92.9	24.6	62.3	"	A	27.4	49.0-48.0	68.0	
	3	300°C X 1	63.0	92.1	23.8	61.4	"	F	27.7	48.5-47.0	67.3	
	4	400°C X 1	67.5	92.7	23.1	62.1	"	"	26.8	46.5-46.9	56.6	
	5	500°C X 1	67.5	92.7	23.1	62.1	"	"	27.4	47.6-46.0	56.6	
B ニッケルクロム鋼 C=0.30 Ni=0.17 Cr=0.28	1	+	54.5	88.8	22.9	62.0	Cup	A	28.3	46.8-46.2	52.1	
	2	200°C X 1	53.0	70.7	26.7	64.0	"	C	27.7	47.2-47.0	52.3	
	3	300°C X 1	52.0	72.7	26.1	63.1	"	A	27.2	47.8-48.3	48.3	
	4	400°C X 1	53.0	70.5	26.5	62.5	"	C	19.9	46.5-47.0	68.8	
	5	500°C X 1	57.1	69.3	24.8	63.7	"	Cup	B	19.7	48.2-47.2	52.8
	6	600°C X 1	52.0	71.6	26.8	63.6	"	F	18.6	49.2-47.0	62.2	

同上 図表



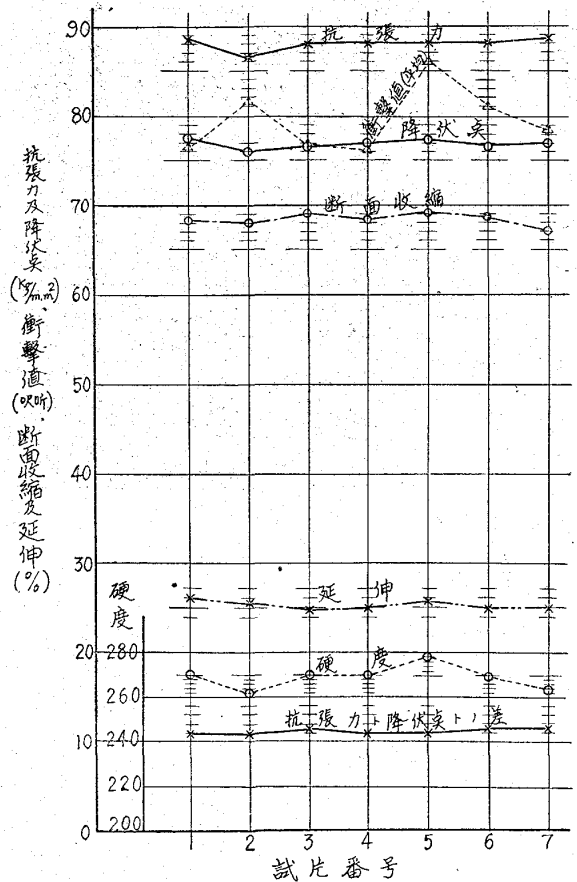
但しバナヂウムを含有するニッケルクロム鋼は 200°C 以上に於て強度も衝撃値も減少すると云ふ例外もあつた。尚質量及び加熱時間長短の

第 11 表 熱処理後再加熱の影響 (其の二)

材質=ニッケルクロム鋼 (C=0.25, Ni=3.10, Cr=0.87)

試験番号	熱処理	再加熱	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	延伸 (%)	断面収縮 (%)	断面状態	切取位置	硬度 (HRC)	衝撃値 (呎呎)	記事
1	850	650	77.3	88.4	24.0	68.1	Rd	A	26.9	77.5 76.2	76.85 11.1
2	850	650	75.8	86.7	23.5	67.7	Rd	B	26.2	81.4 81.6	80.50 10.9
3	850	650	76.3	87.8	24.8	68.9	Rd	B	26.9	79.3 74.4	76.65 11.5
4	850	650	77.0	88.0	25.0	68.1	Rd	A	26.9	77.1 74.8	75.25 11.0
5	850	650	77.1	88.0	25.3	68.9	Rd	A	27.8	83.5 87.9	83.70 10.9
6	850	650	76.6	88.0	25.0	68.5	Rd	A	26.9	87.4 74.3	80.38 11.4
7	850	650	76.9	88.3	25.0	66.8	Cup	B	26.3	77.5 77.0	78.25 11.4

同 上 図 表



即ち 650°C で焼戻したものは再加熱時間を 1 時間とすれば 640°C 迄は殆んど初めの強度を失はない従つて 400°C とか 500°C とか云ふ温度ではかなり長時間再加熱しても強度を失はないと云ふことがわかる。

#### 4. 繰返熱処理の影響

材料試験不合格で熱処理を度々繰返したらば材質が悪くなりはせぬやと云ふ疑問を起される事がある。

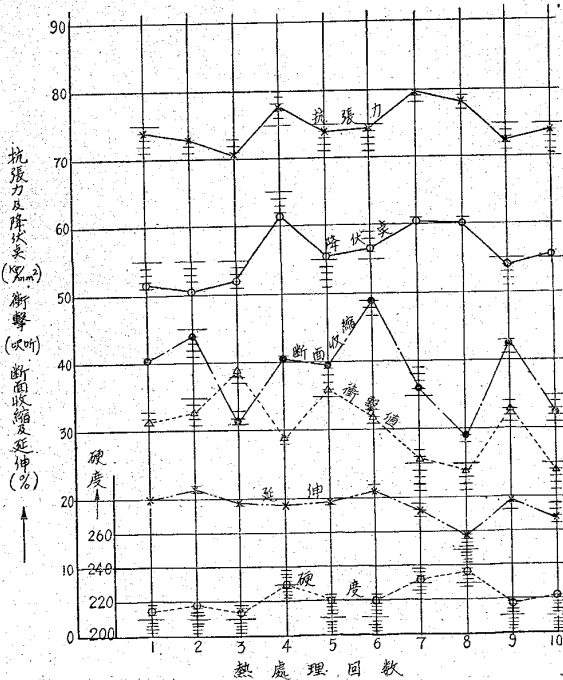
ニツケル鋼を何回も處理した一例を擧げると第12表の通で衝撃値は悪くなることがあるが他の性質は殆んど變化なく其の衝撃値も尙一度焼鈍すれば回復することが出来る。

第12表 繰返熱處理の影響 (其の一)

材質ニツケル鋼 (C=0.32, Ni=3.41)

熱處理回数	熱處理C x t	試験符号	降伏強度 K <sub>0.2</sub> /mm <sup>2</sup>	抗張力 K <sub>0.2</sub> /mm <sup>2</sup>	延伸率 %	断面縮小率 %	断面状態	切断位置	硬度	衝撃値 呎吋
1	3300x6000	A	52.0	72.6	26.5	43.1	FFur	C	217	305-320
		B	51.0	72.2	19.3	43.3	F	C	212	310-325
		平均	51.3	72.3	18.3	43.2	FFur	B	212	302-324
2	3300x6000	A	50.6	73.0	22.8	48.1	FFur	B	213	302-307
		B	49.8	72.6	22.0	49.7	F	B	217	306-341
		平均	50.5	73.0	21.5	44.1	FFur	B	216	302-322
3	3300x5700	A	52.0	70.7	18.8	30.3	FFur	A	216	320-325
		B	52.2	71.3	18.5	31.6	FFur	C	213	301-344
		平均	51.8	70.7	19.2	32.6	FFur	C	217	302-322
4	3400x5700	A	62.2	78.7	19.3	46.3	F	C	229	300-323
		B	59.4	77.6	18.5	33.4	FFur	C	231	310-323
		平均	61.3	78.2	19.0	40.6	F	C	225	302-322
5	3400x5000	A	52.3	73.4	20.0	44.3	F	C	221	320-322
		B	52.2	73.0	19.0	44.3	FFur	B	222	320-322
		平均	52.4	73.2	19.5	39.8	FFur	B	220	301-321
6	4700	A	56.0	73.6	22.8	42.1	FFur	A	220	312-322
		B	56.2	73.7	20.3	42.4	F	B	220	310-322
		平均	56.1	73.7	21.1	42.0	FFur	B	220	306-320
7	5450x5700	A	60.2	72.8	17.3	34.0	F	C	227	302-322
		B	60.3	72.8	17.3	34.0	FFur	C	225	302-322
		平均	60.3	72.8	17.3	34.0	FFur	C	225	302-322
8	3350x5650	A	52.0	72.7	16.8	31.6	FFur	B	221	310-322
		B	52.6	72.7	17.0	32.1	FFur	C	225	310-322
		平均	52.3	72.7	16.9	31.8	FFur	C	223	302-322
9	3200x5200	A	62.0	72.1	14.6	32.2	F	B	217	310-324
		B	53.3	72.3	15.3	40.4	F	B	217	302-322
		平均	57.7	72.2	15.3	36.3	FFur	B	216	306-323
10	3200x5600	A	56.2	72.7	16.3	34.0	F	C	221	310-322
		B	56.8	72.4	15.3	34.0	F	B	217	302-322
		平均	56.5	72.6	15.8	34.0	FFur	C	220	301-321

同左圖表



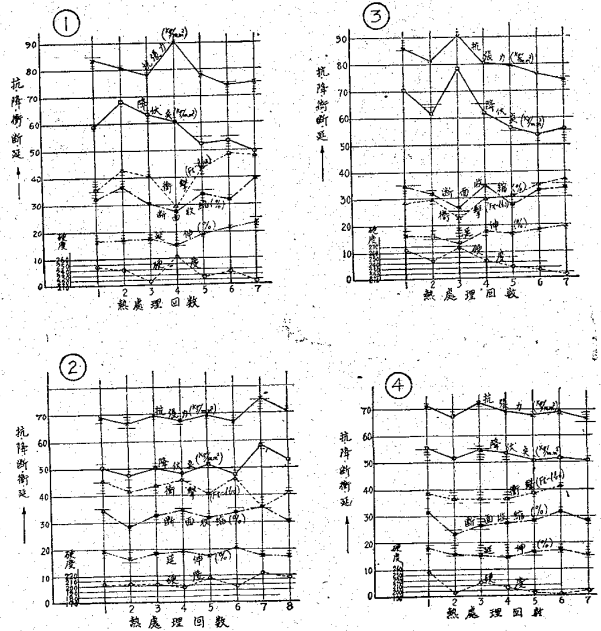
焼戻を繰返してどうしても延伸不足で合格せぬニツケルクーム鋼に就て同様の例を擧げて見ると

第13表の通で此の場合にも大なる變化は認めない。

第13表 繰返熱處理の影響 (其の二)

材質ニツケルクーム鋼

材料種	分析 C Ni Cr	繰返回数	熱處理		材料試験成績										備考
			焼入	焼戻	降伏強度 K <sub>0.2</sub> /mm <sup>2</sup>	抗張力 K <sub>0.2</sub> /mm <sup>2</sup>	延伸率 %	断面縮小率 %	断面状態	切断位置	硬度	衝撃値 呎吋			
①	0.27 3.38 0.67	1	7800x6000	52.0	83.9	17.0	32.2	24.8	33.4	新熱処理による焼戻平均値のみ					
			3300x5700	68.6	81.3	17.3	36.4	24.0	42.2						
			6350	63.4	73.0	17.5	32.1	21.7	40.8						
			6400	60.5	92.2	15.5	27.8	26.1	27.4						
			6000	52.3	78.0	18.2	33.8	22.5	43.7						
			6000	53.3	74.6	21.2	31.3	23.8	43.8						
			6000	49.7	75.1	23.0	32.8	21.6	43.0						
②	0.31 3.16 0.64	2	3300x6000	50.1	69.3	19.7	34.7	20.4	41.8						
			6400	47.7	66.7	16.1	32.1	20.3	41.8						
			3300x6000	50.1	69.3	18.7	32.7	20.4	43.0						
			5300	48.6	67.6	19.6	34.7	19.7	45.8						
			3300x6000	51.5	69.6	17.8	31.8	21.4	40.5						
			6000	47.5	67.0	22.0	33.3	19.9	46.0						
			3300x6000	58.1	75.4	18.0	33.2	22.2	35.3						
③	0.28 3.92 0.79	3	3000x6500	70.8	83.9	16.7	34.9	26.5	28.8						
			6000	61.8	81.3	16.5	31.5	24.5	29.7						
			7800x6000	78.4	92.1	13.4	26.1	26.9	22.4						
			6400	61.5	80.2	17.5	34.6	24.1	29.5						
			6000	56.3	78.9	16.9	27.4	23.1	30.1						
			6000	53.6	76.6	18.6	32.7	22.7	34.3						
			6400	53.1	74.3	19.7	33.3	21.5	36.3						
④	0.24 3.38 0.64	4	7800x6000	55.3	71.1	13.0	31.8	23.5	33.6						
			6000	51.3	67.5	15.6	23.7	18.6	36.5						
			3000x6000	54.5	72.2	14.9	26.4	21.4	36.9						
			6400	53.1	69.0	14.7	27.8	20.6	36.6						
			3200x7300	50.5	67.7	16.7	23.6	19.7	38.7						
			3300x7300	51.2	68.5	17.3	31.8	19.2	41.4						
			3300	50.5	66.7	15.1	22.4	19.8							



即ち何度も加熱急冷等を繰返すと云ふ作業其の物は別に材質を害するものでないと云ふ事がわかる。同時に又二度焼等と稱して焼入を繰返すことは材質を改善するに應用される事もあるが或程度以上は何度繰返しても最早改善し得ないものと云ふこともわかる。

焼戻を繰返してもどうしても延伸不足等で合格せぬ場合に焼鈍からやりかへると延伸が出て合格する場合がある第 14 表は其の實例である。

之は何れもニッケルクローム鋼材で試験片は軸方向に直角に両端から 2 本宛 1 個の材料から 4 本取つたもので表の數字は其の 4 本の平均値である。

第 14 表 熱處理後焼鈍を繰返す實驗

材料番号	成分			數回熱處理シタルモノ					九回焼鈍後處理シタルモノ						
	C	Ni	Cr	降伏力 Kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 Kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面收縮 %	硬度試験	衝撃値 呎呎	降伏力 Kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 Kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面收縮 %	硬度試験	衝撃値 呎呎
1	.27	3.6	.71	54.3	71.8	15.0	25.5	214	43.1	48.9	6.9	1.92	33.4	211	35.4
2	.26	3.64	.72	54.9	71.2	13.9	21.3	217	46.3	48.8	6.7	3.20	35.0	199	51.2
3	.25	3.32	.77	51.0	69.8	16.2	21.8	209	52.1	49.2	6.8	1.94	37.1	210	41.5
4	.26	3.96	.73	48.8	70.8	17.9	30.4	206	45.0	51.2	7.2	2.04	39.3	212	42.1
5	.25	3.49	.57	53.3	70.5	16.7	30.5	207	45.0	50.9	6.9	1.95	33.8	205	47.0
6	.29	3.44	.73	51.7	70.1	18.1	29.7	206	46.4	51.9	7.0	1.95	34.4	209	46.9
7	.29	3.44	.73	48.4	68.8	18.2	24.4	203	43.0	49.2	6.7	2.10	38.1	200	47.7
8	.24	3.38	.64	53.6	70.5	16.7	29.0	209	40.0	57.3	7.2	1.69	30.9	220	39.3
9	.24	3.38	.64	53.9	70.1	16.7	28.3	210	35.5	50.1	6.7	2.19	40.3	204	40.8
平均				52.4	70.4	16.5	28.0	209	44.0	50.8	6.9	1.98	36.1	208	43.6

- 備考 1. 上記材料試験成績、何れも材料の両端より 2 本宛採りタル試片の平均値ナリ。  
 2. 焼鈍後處理は 850°C に 7 乃至 8 時間加熱炉冷後更ニ焼入焼戻ヲ行フ作業ナリ。  
 3. 結果は焼鈍後處理シタルモノ、延伸及断面收縮ニヨリ

此の表に於て 9 個の平均に就て見れば降伏點、抗張、力硬度及衝擊値は殆んど變化ないが延伸及断面收縮は夫れ々々焼鈍をやり直したものと方が 3.3% 及 8.1% 増加して居る。此の理由は何故か未だわからないが普通の再處理即ち焼戻丈けや焼入、焼戻丈けで合格しない場合にやつて見る方法である。

5. 焼鈍丈けで材質を改善すること

普通熱處理とは焼入焼戻作業によつて調質 (Vergüten) する事を意味するが焼鈍丈けでもかなり材料の性質を改善することが出来る。そして

其の程度は特殊鋼に於て著明である。

普通鋼でもボイラードラムとかカタライザーチューブとか大きな鍛造物は二段鈍し又は三段鈍しの方法により先づ組織を均一にし結晶粒を細かくする爲に變態點の上迄熱して冷却し更に變態點の直下迄熱して冷却し以て變態の爲に起つた内部應力を除去することを行つて居る様であるが或るニッケルクローム鋼について種々の焼鈍法を行つて試験した結果の中で興味ある成績丈けを掲げると第 15 表の通で炭素鋼よりも焼鈍温度とか冷却方法とか大に影響を及ぼすことがわかる。此の試験を行つた材料は炭素 2.29%、Ni 2.44%、Cr 0.57% のもので 1.2t 鋼塊を徑 25mm の丸棒に鍛鍊し長さ 250mm に切つて各種の温度で焼鈍を行つた。

第 15 表 各種焼鈍に對する強度  
 材質ニッケルクローム鋼 (C=2.29, Ni=2.44, Cr=0.57)

試片番号	焼鈍温度 第 1 回 第 2 回 第 3 回	降伏力 Kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 Kg/mm <sup>2</sup>	延伸 %	断面收縮 %	断面状態	切斷位置	不 本 度	衝 撃 値 呎呎
1	700	—	38.9	61.4	28.0	55.8	F	B	158 45.0 43.0
2	800	—	37.0	63.9	26.3	44.3	F	B	174 30.0 31.0
3	900	—	37.8	63.0	25.0	48.7	F	A	170 25.8 25.8
4	800 52中	—	44.1	70.8	22.6	51.8	Cup	B	202 33.0 32.4
5	700 700	—	40.9	61.4	27.3	53.8	F	B	169 66.7 70.0
6	800 680	—	39.4	59.2	28.5	61.5	F	B	170 46.2 44.2
7	800 800	—	38.7	65.2	26.0	49.7	F	A	171 27.0 29.8
8	900 680	—	37.0	60.3	29.4	58.7	F	B	179 41.3 41.3
9	800 680 52中	—	40.2	60.5	27.3	62.4	F	B	163 50.0 52.8
10	800 780 52中	—	40.2	63.6	26.8	50.8	F	A	173 32.8 38.3
11	900 680 52中	—	38.6	62.2	31.2	61.5	F	A	191 48.4 52.0
12	800 700 700	35.4	57.8	29.3	63.3	F	B	170 50.0 48.0	
13	800 800 800	39.4	64.6	26.5	49.7	F	B	177 27.0 30.2	
14	900 800 700	34.6	58.3	38.0	58.7	F	A	168 43.5 47.3	



焼鈍時間は4時間とし、爐内で1時間に付 $30^{\circ}\text{C}$ の割合で $300^{\circ}\text{C}$ 迄冷却し、然る後爐外へ取出した。但し空中冷却のものは所定温度で4時間加熱した後、爐から取出し空中に放冷したのである。此の方法を各種の温度で1回乃至3回繰返した材料試験を行つた。

第15表の結果を見ると、鍛錬後 $700^{\circ}\text{C}$ で鈍せば相當良い成績が得られる。 $700^{\circ}\text{C}$ を2回繰返せば牽引試験成績はかわらないでも衝撃値は一層良くなる鈍しの温度を高くすれば抗張力は高くなるが

衝撃値が小になる。一旦變態點以上に加熱し空中冷却の後變態點以下で鈍すと良くなる。此の事はしかし形状の複雑な品物には歪を生ずる恐れがあるから應用出来ぬ。3回鈍したものは最後の鈍しを變態點以下にするとかなり良い成績を得られるが2回鈍したものより却つて悪い、つまり焼鈍は何度も繰返しても別に良い成績は得られぬ。又一般に行はれて居る様な高温度の鈍しは特殊鋼に於ては必要あるまいと云ふ事にもなる。