

# 本邦熱処理法の發達

工學博士 佐々川 清\*

## 序 言

熱處理の目的は材料の組織を改善して所要の機械的或は物理化學的性質を得る事及び加工或は使用に依つて生じたる内部歪力を除去して均齊な信頼度のあるものを得るにある。従つて熱處理は金屬材料一般に施行して有效な手段であるが其の内でも鋼材は殊に熱處理の効果が大きい事及び筆者が主として大型鋼材の取扱ひに携つて居る關係上ここでは主として鋼材の熱處理に關して序述する。

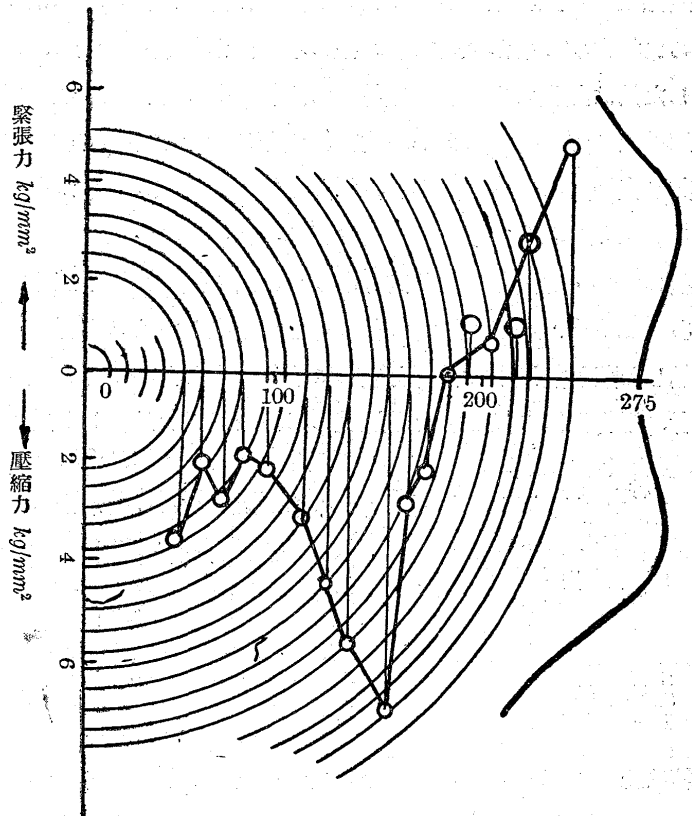
炭素鋼時代には熱處理と云ふても單に焼鈍のみで差支へ無かつたが特殊鋼は處理法に依つて著しく其の性質に差異を生ずるので特殊鋼が發達するに連れ其の取扱ひ或は熱處理と云ふ事は非常に重要になつて來た。最近發達し來た輕合金の如きも熱處理に依らざれば其の性能を充分發揮し得ないのである。過去 20 年間に我國に於ける金屬材料に關する製造技術の進歩發達が驚異的なものである事は何人も首肯し得る所であるが、熱處理に就ても同様な事が云ひ得る。特殊鋼の製造が我國に於て行はれ始めたのは相當古い事であるが當初は殆ど外國の模倣とでも云ふべき状態であつて、熱處理の理論が概念的に一般に理解されるに到つたのは近々十數年來に過ぎないのである。以下序述する事實は何れも最近十數年間に考案或は改善せられた事柄で事實の説明は即ち最近の進歩發達と解して差支へないと考へる。

## I. 鋼材の燒鈍

1) 鋼塊及び荒鍛鍊材の燒鈍 鋼を鑄解注型して得た鋼塊は之を直ちに加熱して鍛鍊すれば一見別に故障を生じそうもないが實際は型抜後直ぐ鍛鍊工場に送るにしても鋼塊の内外温度は自ら異なるし又時に依つても一時冷却して置かねばならぬ場合もある。従つて鋼塊が大きな時には内部に残留する歪力は相當大きなものになる。第1圖は 3t 低 Ni 鋼鋼塊を鑄型内で冷却したものに就き残留歪力を測定した成績で應力差は  $13 \text{ kg/mm}^2$  に及ぶ。この鋼塊は注型温

度が比較的lowかつたものであるが、注型温度の高い場合には残留歪力が一層増加するのは當然である。鋼塊がもつと大きい場合とか鋼塊成分が自硬性ある場合等に於て歪力は

第 1 圖 3 吨鋼塊中に残留せる内部歪力



分析成分

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
0.26	0.05	0.86	0.037	0.037	1.28	0.68	0.20

更に大となるべく、又若し鋼塊が餘り良好でなく不純物、瓦斯等の多い時には残留歪力が粒子間の凝集力に打勝つて鋼塊に割疵を生じないとも限らない。事實 9t 位の低 Ni 鋼鋼塊が冷却の際大きな縦割を生じた事がある。當時鋼塊を直ちに暖爐に入れ約  $600^\circ\text{C}$  で焼鈍緩冷する方法を採つた所全然割疵を生じ無かつた。

Ni 或は Cr を相當量含有する鋼になると温度に對して敏感であるから其の取扱ひに就ては餘程の注意を要する。大きな特殊鋼材を製造し始めた當初は其の取扱ひに慣れなかつた爲に鋼塊或は鋼材の破損を再三繰返したものであるが最近に於ては之等の事故が殆ど無かつたのは全く大進

\* 吳海軍工廠製鋼部

歩である。元來特殊鋼、殊に *Ni-Cr* 鋼或は *Ni-Cr-Mo* 鋼の如きは自硬性があり冷却速度に依つて組織が異なるから内外部の冷却速度が異ると内部歪力が甚しく大きくなる。それで此種鋼塊は型抜後直ちに灼熱して鍛鍊するのが安全であるが灼熱爐が充満して居る時には焼鈍して冷却するか或は一時豫備爐に入取て置かなければならない。焼鈍する場合は冷却の際と再加熱時に餘程の注意を要する。*Ni, Cr* 含有量の多い時には焼鈍しても矢張り危険でどうしても赤材鍛鍊を要する事がある。豫備爐に預る場合には爐を Ar 變態溫度以上に暖めて置く事及び鋼塊が此の溫度以下にならぬ様にする事が大切で、取扱の不注意が鋼塊を臺無しにした例は無數にある。荒鍛鍊後の鋼材に就ても同様に直に適當なる焼鈍を行はないと内部に大なる歪を残存して居て其後の處置例へば加熱、機械加工等の際破損する事がある。28t 鋼塊が荒鍛鍊後の内部穿孔作業中に異常な音響を發し内部に龜裂を生じた例もあり又某所で造つた數十噸もある *Ni-Cr* 鋼製大鋼塊の荒鍛鍊して焼鈍したものを再加熱した際加熱爐中で音響を發して縦割を生じた事もある後者の場合受領の儘と之を再焼鈍して見た後とを比較した成

材 料	試片方向	機械的性質		
		抗張力 $kg/cm^2$	伸 %	衝擊値 $ft-lbs$
1 受領の儘	タテ	371	0.9	3.5~4.1
		351	0.7	5.2~6.4
	ヨコ	34.0	0.7	3.0~3.1
		22.0	0.4	2.0~2.0
2 再焼鈍後 850-650°C 12hr 15hr	タテ	39.7	58.7	12.2~7.8
		37.9	65.8	9.7~13.0
	ヨコ	37.7	58.8	7.5~12.6
		38.0	56.3	14.0~8.3

績は上表の通りで焼鈍が充分で無かつた事が割れの一原因である事を推論し得た。所謂白點の如き特殊鋼特有の缺陷も鍛鍊後の急冷が一原因と認められて居る。

2) 鍛鍊材の焼鈍 普通鋼は變態域以上から爐冷する事に依り大體焼鈍の目的を達するが大きな鍛鍊物になると著しく脆弱となる事がある。斯る場合鍛鍊物を一度 1,000°C 位に加熱冷却し然る後 800°C 附近で軟化すると強度には大した差異を生じないが衝擊値を増す事が出来る。大切な鍛造物に對しては經費が掛るが之の二段焼鈍法を用ひる事は有効である。又焼鈍後空中放冷をする事もある、空中放冷は歪が残り硬度が増す等の缺點はあるが爐の使用時間が減り又組織が多少緻密になり、機械的性質が良くなるから場合に依つては便利である。

特殊鋼は焼鈍の儘で用ひられる事は少く大抵は焼入焼戻を施すものであるが大鋼材は鍛鍊後一度焼鈍して荒削りを

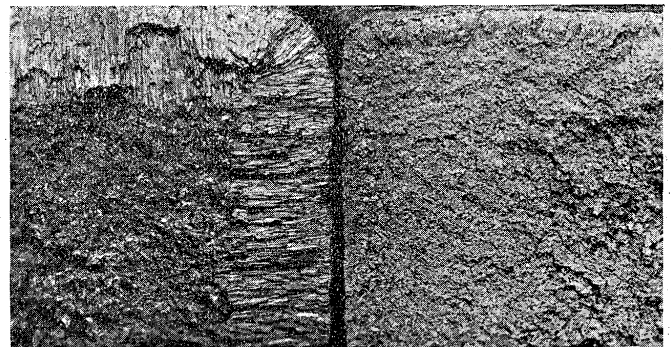
行ひ然る後焼入焼戻作業にけるのを普通とする。此の場合の焼鈍は鍛鍊に依る歪を取り再結晶に依つて組織を改善し且機械削を容易にするのが目的である。從來 *Ni-Cr* 鋼に對しても炭素鋼同様變態域附近で一回の焼鈍を行ひ來つたが *Cr* 量の多いもの又は *Mo* の入つたものは此の方法では中々軟くならない。斯る場合には寧ろ變態點以下の溫度に加熱するか、或は最初  $Ac_3$  直上から緩冷し次に  $Ac_1$  の直下に再加熱して緩冷する方法の方が軟化が確實で統一になる。次表は *Ni-Cr* 鋼及び *Ni-Cr-Mo* 鋼に就いて焼鈍方法及び溫度と硬度との關係を示したもので二重焼鈍に依るものが最低硬度を得られる事が明かに判る。

材質	燒鈍法	燒鈍溫度 T°C										
		600	625	650	675	700	725	750	775	800	850	900
<i>Ni-Cr</i> 鋼	硬度	—	—	265	248	246	255	263	328	302	306	298
	〃	236	231	225	228	220	—	277	—	277	—	
<i>Ni-Cr-Mo</i> 鋼	〃	—	—	282	274	271	237	251	283	287	285	285
	〃	299	295	272	255	229	—	275	—	287	—	

3) 高温焼鈍 鋼塊の外側或は金型に鑄込んだ鋼鑄物の断面に見る所謂樹枝狀組織は鍛鍊加工して再結晶させる様な方法に據る以外普通の熱處理では之を破壊する事が困難である。鋼塊は普通鍛鍊して用ひるから良いけれ共特殊鋼鑄物の如きは断面の大部分が樹枝狀組織となり横方向に引張つたのでは延びが極めて少ない事がある。斯の如き場合には此の鑄物を 1,100°C~1,200°C の高溫度に長時間保熱し不純物の擴散を起さしめて樹枝狀組織を破壊せんとする所謂高温焼鈍法を用ひると有効である (高温焼鈍後普

第 2

普通焼鈍 高温焼鈍



通焼鈍の必要なる事は云ふまでもない)。

第 2 圖は *Ni-Cr* 鋼鑄物の普通處理せるものと高温焼鈍せるものとの断面の比較で後者が樹枝狀組織の無くなつて居る事が良く見える。但し高溫度に長く鑄物を熱すると變

形する怖れがあり又經費も掛るから特殊鋼以外には餘り實用にならない。鋼塊を高温度焼鈍する事も不純物の擴散を得て材質を均齊ならしめ得、白點の如き缺陷の防止法として有効と思はれるが鋼塊は鍛鍊前高温度に加熱されるのであり又經費設備等の關係で實際には仲々行はれ難い。

## II. 鋼材の焼入、焼戻

1) 普通鋼の熱處理 炭素量の少ない普通鋼は焼入しても効果が現はれないので普通焼鈍状態で用ひられるが大きな材料になると強度及び延びは相當あつても衝撃値は著しく悪くなる。昔は此の事が判然せず専ら牽引試験成績のみに信頼して計畫使用された爲、屢々故障破壊を生じた事があつた。其の後脆性の試験の必要が認められ衝撃試験が規格に入る様になつてからは此の危険は全く防止せらるるに到つた。此の事は直接熱處理に關係はないが材料の使用方面より見て一大進歩である。衝撃抗力が重要視されるに至つてからは重要な部分には特殊鋼が炭素鋼を置換しつゝある。事實炭素鋼は焼入、焼戻を行つても餘程徑の小さなものでなければ靱性を得る事は仲々困難である。

次表は炭素鋼を熱處理した一例で (A) と (B) とは成分は同じで只大きさが異なるのみであるが之を水中で焼入焼戻した場合牽引試験成績が同様なるに係らず衝撃抗力に於ては3倍の差異が生じて居る。

	C	Si	Mn	S	Ni	Cr	Cu
成分%	0.48	0.30	0.031	0.041	0.51	0.07	0.09

### 機械的性質

材料	熱處理	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮 %	ブリ ネル 硬度	衝擊 kg.m	屈曲
A 220 <sup>mm</sup> × 85 × 115	850° × 1.5 <sup>h</sup> 水 650° × 3	52.8	79.9	23.0	54.0	225	2.9	
B 220 × 35 × 40	同上	53.8	79.4	24.3	58.7	226	8.2	

大きな材料になると如何なる焼鈍方法を講じても仲々靱性を増す事は困難であるが若し多少なりとも Ni 或は Cr の如きものが入つて居れば焼入、焼戻に依つて著しく強靱ならしめ得る。次表は直徑 4m、厚さ 550mm、重量 47t と云ふ大きな鋼製圓板の一例で焼鈍のみでは其の衝撃抗力がアイゾッド 9.4ft.lb であつたが焼入、焼戻をしたら 20

### 機械的性質

處理法	試片方向	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮 %	ブリ ネル 硬度	衝擊 ft.lb	屈曲
焼鈍	面に平行	45	58	20.0	33.0	155	9.4	95°折
	厚さの方向	46	58	24.3	38.3	156	9.4	108°折
焼入焼鈍	面に平行	40	65	27.5	54.2	188	27.4	180°曲
	厚さの方向	37	63	29.3	53.2	186	19.5	180°曲

ft.lb 以上となり、且屈曲試験で不合格のものが合格するに至つた。

炭素鋼の機械的性質の改善方法として興味あるものは所謂二段焼入法である。焼鈍状態に特有なるパーライト部の層状組織の代りに球状セメンタイトを作つて機械的性質を良くする事は從來も考へられ來つた事で其の方法として鋼を變態域或は其の直下に長く熱する事も知られて居た。併し之には著しく長い時間を要するので實用化されなかつたが此の二段焼入法に依れば熱處理時間が極めて短くて済むので實用的で且又成績も良好である。室蘭の日本製鋼所では此種の熱處理に關し特許を獲得し其をニセコ法と稱して居る。所謂ニセコ法は先づ鋼を高温度から A<sub>1</sub> 點以下に冷却し (第一段) 次に A<sub>1</sub> 域の僅か上から域下に降溫し (第二段) 最後に A<sub>1</sub> 域内から域下に冷却するのである。之は理論的に云へば第一段で組織をマルテンサイト化し第二段に於ては之を昇溫の間にソルバイトに變ぜしめ A<sub>1</sub> 域の僅か上迄熱しセメンタイトを辛じて固溶化し且粒晶を微細ならむる。第三段に於ては此の球状化と分布とを完成させ様と云ふのである。本方法に依れば比較的容易且短時間にセメンタイトの球状化をなし得、且之を一様に分散せしめるので從來の焼鈍鋼に見るフェライト、パーライト組織のものに比し強靱となるのであつて日本製鋼所の發表して居る實例には次表の如きものがある。

### タービン翼車材の例

#### 機械的性質

材質	試片位置	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸%	收縮 %	衝擊 ft.lb	屈曲
普通焼鈍鋼	ボス	25.3	50.0	34.3	56.0	28.2	180°
	リム	27.8	53.0	33.2	53.7	30.0	180
ニセコ鍛鋼	ボス	25.5	48.0	35.0	57.5	33.7	180
	リム	30.3	51.0	37.5	64.3	39.6	180

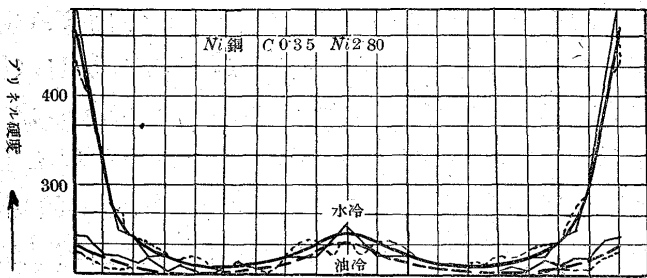
## 2) 特殊鋼の熱處理

イ、焼入 熱處理の目的は要するに所要の機械的或は物理化學的性質を得るにある。従つて目的に應じて處理方法も自ら異なるべきで例へば耐摩耗性に富む高 Mn 鋼とか又は高 Ni-Cr 不銹鋼とかの如きオーステナイト組織の鋼は無論焼入状態で使用されるのであるが普通の場合には焼入に依つてオーステナイト或はマルテンサイトの固溶組織とし之を焼戻して強度と靱性とを合せ得んとするのである。従つて組織は細かく均一なる事が望ましいのであつてそれには先づ焼入が適當でなければならぬ。理論的に云へば A<sub>c3</sub> 變態點直上から出來得る限り速に冷却すれば良いのであるが實際にはそう簡単には行かず材料が大きな場合には

鋼材の大きさに依つて焼入温度を變へねばならぬし又冷却用媒質に就ても考慮する必要がある。

冷却用媒質としては比熱、傳導率が大きく、揮發し難く粘性の小なるものが良いとされて居る。普通に用ひられるのは水及び油であるが特殊鋼の焼入に水を用ひると表面に近い部分には非常に良く焼が入るが内部との差が大きくなり結局均齊にならぬ怖れがある事及び冷却が急激なる爲材質に依つては甚しき組織の差異や内部歪力を生じ破損する憂があるから普通は油が用ひられる(第3圖)。

第3圖 焼入硬度と肉厚との關係圖  
直徑 200mm 焼入温度 850°C



諸性質	新種油	古種油	油に就ても魚油、礦物
比重(15°C)	0.915	0.947	
遊離有機酸	2.34	23.10	油植物油等何れも利害特
引火點°C	215	203	
粘性 Red Wood			失があり又永年使用する
15°C	404	2184	
30°C	220	836	と次第に變質して其の性
45°C	122	436	
60°C	79	259	能が違つて来る。例へば
80°C	55	136	

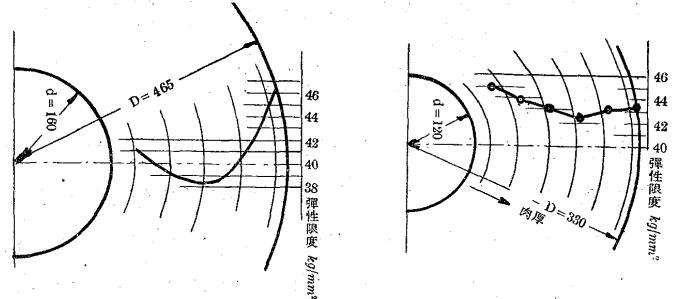
種油を約 20 年間連続使用し減耗しただけ新油で補充したものは上表に見るが如く遊離酸が増加し粘性が甚しく大となる。従つて冷却能力はどうしても減ずるが其の程度は魚油等に比すれば遙かに良好である。尙焼入を完全ならしむるためには油量を豊富にする事、充分攪拌する事、焼入材の表面の酸化物を除去する事、焼入作業中も油を冷却装置に循環する事等が必要である。冷却用媒質の温度も低い方が焼入効果が大きであるが程度を越すと Ni-Cr 鋼の如きもの場合には焼割を生ずる怖れがある。大鋼材の場合には 4~5°C から 50°C 位が適當である。最近或官廳では油と水との混合液を用ひて焼入、焼戻の二段作業を一段作業で済ませ所要の熱處理効果を得つゝあるとの事である。

鋼材が大きくなると内部迄焼入効果を及ぼす事は中々難しい。例へば Ni 鋼の如きは油中焼入では充分焼が入らないので肉厚の大なる場合には水中冷却の方法も國によつては採用されて居る。但し此の場合内部と外部とは焼入した状態が甚だしく異なり、従つて之を焼戻した場合に均なる機械的性質は得難い。(第4圖其1肉厚の内外部に於ける

弾性限の差大なり)。

第4圖 弾性限に及ぼす熱處理の影響

其の1 Ni 鋼、水焼、空氣戻  
其の2 NiCr 鋼、油焼、油戻



それで肉厚の大きな物には自硬性の大なる Ni-Cr 鋼の如きものが使用されるのである。(第3圖其の2肉厚の内外部に於ける弾性限の差小なり) 品物が更に大きくなると勢ひ Cr を増すとか Mo を加へるとかして焼入効果を増す方法を講じなければならないが、又一方熱處理を數回繰返す事も有効である。これには焼入を續けて二回繰返す方法と焼入、焼戻作業を數回繰返す方法とがある。又場合に依つては最初水焼入をなし次に油焼を施し然る後に焼戻を行ふのも有効な事がある。

□、焼戻 所要の機械的性質を得る爲には普通焼入後焼戻をするのであるが普通の場合には焼戻温度の上昇に伴ひ降伏點、抗張力は減じ伸び、衝擊抗力等は増して来る。従つて強度を必要とするものに対しては焼戻温度を低くし伸び靱性等を要求する場合には温度を上げれば良い。

一般に焼入した物を焼戻する場合焼戻温度に對する機械的性質の變化は最初は急激で次第に緩慢となり變態點に近くなつて又急激となる。材料が長く或は大なる場合には全體が一樣の温度になり難く其他温度測定の誤差、鋼材の出來上りの差異(分析成分、偏析等)等の爲材料の均齊なものを得る事は中々難しいのであるから性質の變化の急激な温度で焼戻を行ふ事は餘り望ましくない。出來得るならば變化の最も緩慢なる温度を焼戻温度に撰定するのが良く、若し其の温度では所要の性質を得る事が出來なければ勢ひ成分を變へる方が安全である。

焼戻温度と機械的性質との關係で一吋面白いのは焼戻温度が變態域近く迄上昇すると抗張力が増すに係らず降伏點は低下する事である。此の事實は大きな材料或は長い鍛鍊物の加熱處理の際利用出来る。例へば抗張力が所要より強過ぎた時焼戻が不足なのか或は過ぎたのかの判定に用ひる

と便利である。前者の場合は再焼戻に依つて所要のものを得るが後者の場合には焼入からやり替へねば降伏點を上げる事は出来ない。

特殊鋼の焼戻に關して興味ある問題で又影響する所の大きなものは所謂焼戻脆性である。焼入は高温度に於て安定なる組織を其の儘常溫に持つて來ようと云ふのであるから勿論急冷せねばならぬけれども之を焼戻に依り安定なる組織に變じたる以上はなるべく緩冷して残留歪力を少なくせんとするのは當然で殊に精密機械、兵器類の如く後で狂ひの出る事を嫌ふ材料に於ては昔から焼戻後緩冷するのを普通として居た。然るに斯の如き處理を施した大型鍛造物が時として極めて脆く破壊する事があり兵器用特殊鋼で有名なクルップ工場の如きは夙に此の問題で頭を悩まして居たので之をクルップ病と迄稱されて居た。焼戻脆性なる言葉は要するに焼戻温度から急冷すれば此の脆性が無くなり又再加熱して徐冷すれば脆性を發生するので斯く名付けられたのである。例へば *Ni-Cr* 鋼を油焼入後  $630^{\circ}\text{C}$  に加熱し爐中で4時間かゝつて  $500^{\circ}\text{C}$  に徐冷し其の後は爐中緩冷したものと材料の一部を焼入後同じ温度に焼戻し油中急冷したものととの機械的性質を比較したら次表の様になつた。即

機械的性質

冷却方法	降伏點 $\text{kg/mm}^2$	抗張力 $\text{kg/mm}^2$	伸 %	收縮 %	ブリネル 硬 度	衝擊値 $\text{ft-lb}$
(1) 焼戻後緩冷	61.0	78.3	21.4	51.8	231	5.0~11.5
焼戻後急冷	61.5	78.0	22.3	55.8	229	55.0~59.0

ち牽引試験成績に大差なきに係らず爐冷のものは衝擊抗力が著しく低いのである。衝擊抗力の少ないものが實際使用して折損し易いのは當然な事であるが焼戻脆性なるものが判然としなかつた時代には牽引試験成績のみに信頼して重要部分に *Ni-Cr* 鋼の緩冷したものを使用した爲に折損故障を生じた例が少く無かつた。例へば大きな鋼材の焼戻後緩冷したものが破損したので其の衝擊抗力を調べて見たら僅かに  $8\text{ft-lb}$  しかなかつたが、之を再處理して見たら  $40\text{ft-lb}$  にも衝擊値が増した。又直徑  $240\text{mm}$  長さ  $4,000\text{mm}$  の軸が使用中に縦割れを生じた事がある其の原因の一つはキー溝に丸味が無かつた事があつたが脆弱だつた事も確かに主原因で本品を再處理し今度は焼戻後急冷して見たら掲

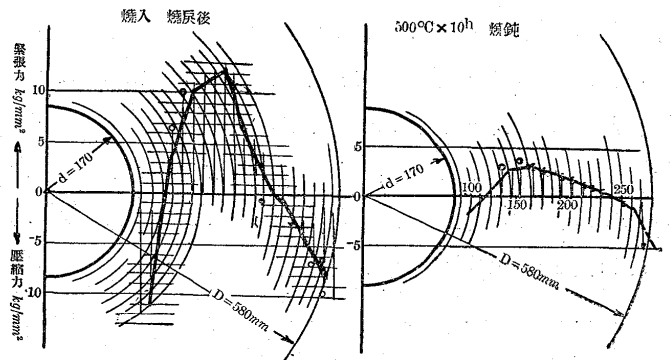
成分% C 0.31 Si 0.05 Mn 0.44 Ni 3.48 Cr 5.48

機械的性質

熱處理法	降伏點 $\text{kg/mm}^2$	抗張力 $\text{kg/mm}^2$	伸 %	收縮 %	ブリネル 硬 度	衝擊値 $\text{ft-lb}$
焼戻後緩冷	59	77	15.4	34.0	241	10
焼戻後急冷	58	72	21.1	21.1	217	32

表の通り著しく靱性を増すに到つた。*Ni-Cr* 鋼は斯くの

第5圖 中空鋼材焼戻残留歪力  
(外徑  $580\text{mm}$  内徑  $170\text{mm}$ )

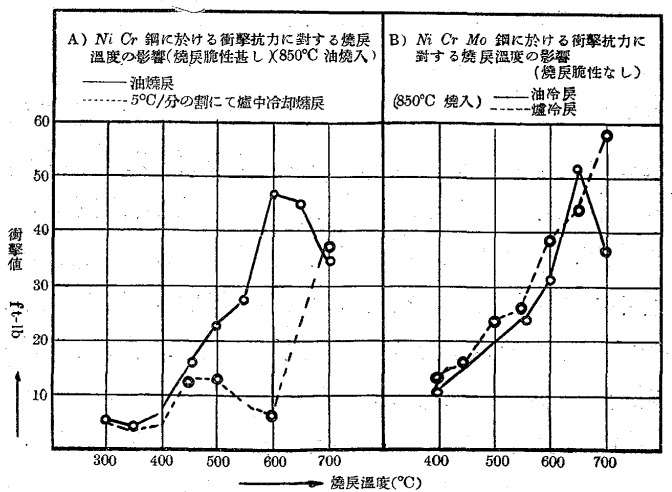


如く焼戻脆性を生ずる怖れがあるから焼戻後は急冷せざるを得ないが此の爲に鋼材中残留歪力は少くない。内徑、 $170\text{mm}$ 、外徑  $580\text{mm}$  の中空圓筒に就ての實驗の結果に依れば(第5圖)焼戻状態での應力差は  $24\text{kg/cm}^2$  もある。然るに之を  $400^{\circ}\text{C}$  に再加熱したら  $16\text{kg/cm}^2$  に  $500^{\circ}\text{C}$  では  $6\text{kg/cm}^2$  に減少した。一方焼戻脆性は *Ni-Cr* 鋼の場合焼戻温度が  $450^{\circ}\text{C}$  以上で生ずるのであるから脆性を失はず且内部歪力を少なくする爲には焼入、焼戻後更に  $400^{\circ}\sim 450^{\circ}\text{C}$  に加熱して緩冷するのが良い。

鋼の成分に依つては焼戻脆性を生じないものもある。例へば *Ni-Cr* 鋼に *Mo* を少量附加すれば現はれない。

第6圖は *Ni-Cr* 鋼及び *Ni-Cr-Mo* 鋼を焼入後各温度に加熱焼戻をなし其の後の冷却速度を變へて見たもの

第6圖 焼戻脆性に關する實驗

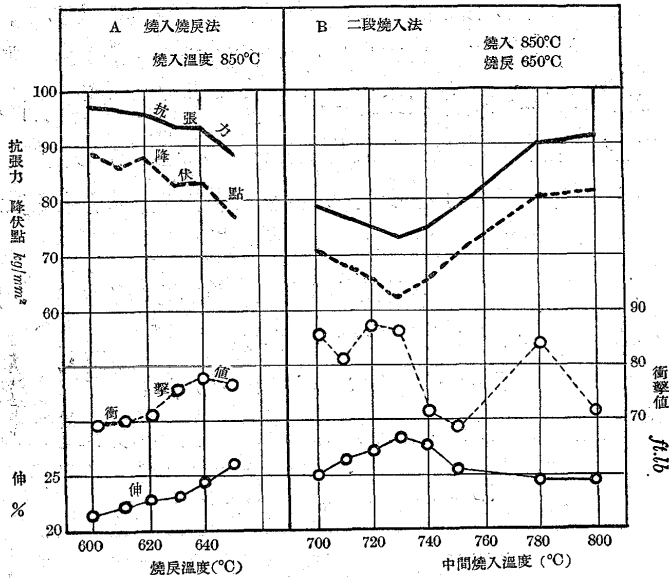


成績で *Ni-Cr* 鋼は  $450^{\circ}\text{C}$  以上になると冷却方法に依り衝擊抗力が甚だしい差異が現はれるが *Ni-Cr-Mo* 鋼では冷却速度の影響が少しも見えない。従つて内部歪力の残存を甚しく嫌ふものとか  $500^{\circ}\text{C}$  以上の高温度に加熱された

り冷却されたりする高壓材料の如き物に對しては *Ni-Cr-Mo* 鋼の方が適當と云ふ事になる。本鋼は此の外弾性限の高い事 *Ni-Cr* 鋼に比し強靱性なる事等の爲最近各種の重要部分に使用されるに至つた。

ハ、二段焼入法 前述の通り特殊鋼は普通變態域以上の溫度から焼入し變態域以下の溫度で焼戻して使用するのであるが肉厚の大なる鋼材で鍊鍊方向に直角に試験する場合などには普通の焼入、焼戻方法では伸び或は衝擊抗力が思ふ様に出ない事がある。然るに焼入及び焼戻作業の間に今一度材料を  $A_1$  變態附近に加熱して急冷する所謂中間焼入を施すと材料は軟くなり伸び及び靱性が著しく増加する第7圖は *Ni-Cr* 鋼に就て焼入溫度を一定にして焼戻溫度

第7圖 普通の焼入焼戻法及び二段焼入法による *NiCr* 鋼の機械的性質の變化



を變じたもの及び焼入、焼戻溫度を一定にして中間焼入溫度を變じたものの試験成績であつて二段焼入法に於て730°Cで中間焼入をしたものが最も抗張力が低く伸び靱性が大である。即ち特に伸び或は靱性を要求する場合には斯くの如き熱處理方法を採用すれば良い。但し本方法は強度殊に弾性限が著しく低下するから之を嫌ふ場合は普通の焼入、焼戻方法に依らなければならない。

3) 高速度鋼の熱處理 近代工業の發達に於て見逃す事の出来ないのは工具の進歩である。能率の増進經費の節約等に於て工具程近代工業を支配したものは少いであらう。我國の狀況を見るに十數年前迄は一般的には高炭素鋼のみが用ひられ高速度鋼の使用は極く一部に限られ且又外國品でなければならぬ様に考へられ従つて貴重品扱ひにされて

居た。然し乍ら最近に於ては國產の工具鋼が世界著名のものに任して何等遜色なく、しかも安價に供給せられる様になり高速度鋼は全く一般化するに到つた。斯くの如く高速度鋼が急激に發達したのは其の鎔解鍛鍊等の製造法と相俟つて熱處理の方法と理論とが一般に普及し了解されるに到つたからである。高速度鋼位熱處理に依つて差異を生ずるものは少ない。如何にボーラー社製の優秀品でも熱處理が適切でなかつたら全く普通の炭素鋼の刃物にも劣つて仕舞ふのである。高速度鋼は普通 *W, Cr* を主成分としこの外に *V, Mo, Co* 等を含有する。従つて鎔解凝固の際は初期結晶が不均齊なるのみならず共融晶に於ける炭化物の集合を生ずるから全般として均質性を得る事は非常に困難である。それで鍛鍊の際も餘程注意を要すると同時に焼鈍に際しても極めて均一且緩徐に加熱冷却をしないと破損する怖れがある。

次に本鋼は種々なる成分のものを多量含有して居り此等は焼鈍状態では殆ど炭化物或は鐵との化合物として存在して居るのであるから高速度鋼としての眞價は焼鈍状態では全然出て來ず高溫度に加熱焼入して化合物、炭化物の大部分を鐵中に固溶せしめ然る後適當に反淬して多少の靱性を有つ硬化組織と微粒状炭化物との混合状態にして初めて其の價値を發揮し得るので、従つて熱處理が重大なる役割を持つ事になるのである。普通は硬化せんとする部分を予め約800°Cに熱し次に刃先を1,250~1,300°Cに加熱し直ちに衝風に掛けて冷却する。蓋し複炭化物は高溫度程鋼中に固溶状態となり易いからである。但し過熱すると粒子が粗大となり著しく脆弱となる怖があるので最高溫度、加熱時間等には餘程の注意を要する。最高溫度よりの冷却は早い方が良い譯であるが水冷の如き方法を採用すると内外部の冷却速度が餘り異り過ぎて組織に差異を生じ破損する憂がある。次に之を約600°C迄再加熱する。この間に複炭化物の析出も生ずるし又オーステナイト組織がマルテンサイト化する爲に切味が良くなると共に一層硬さを増すのである。高速度鋼は普通此の溫度迄加熱して最高硬度と多少の靱性とを附與せしめた状態で使用される。かくすれば此の溫度迄刃先が赤熱されても硬度の低下が無いから切込深さや送り、切削速度等を大にして高速度鋼としての眞價を發揮し得るのである。

### III. 熱處理の應用

今迄述べ來たのは鋼材の製造方法としての熱處理に就てであるがこの他鋼材が種々の原因で變質した場合の恢復策とか或は歪除去法として熱處理が利用される事がある次の諸例の如きがそれで昔は餘り考慮に入れなかつた事が近來は盛んに用ひられて居る。

1) 過大なる荷重を受けて脆弱となりたる場合 軟鋼或は鍊鐵の如き材料は降伏點と抗張力との差が大きいので使用中に荷重が降伏點を越える場合があり得る。斯る場合には内部に歪を生じて材料が硬化現象を呈すると同時に延び或は靱性が著しく減少する。次表は鍊鐵及び低炭素鋼に荷

材 料	衝擊値 ft-lb			重を加へた場合の荷重と衝擊抗力との關係を示すもので最大抗張力の70%の荷重を受けると其の衝擊値は1/3以下に減じて仕舞ふのである。斯る場合の恢復策としてはこの鋼材を適當に焼鈍或は焼入焼戻するのが良く、例へば低炭素鋼の如きは約900°Cに加熱焼鈍すると再び靱性を恢復するのである。鎖フック其の他過大なる荷重の掛り易い部分には時々焼鈍を行ふ事が危険防止に極めて大切である。
	元材	荷重60%	荷重70%	
鍊 鐵	501	281	169	
低炭素鋼	641	531	207	

2) 常溫加工を施したる場合 人工的に歪を起さしめたる場合にも其の後で適切なる熱處理を施して置くと破損の防止に有效である。例へば常溫加工を施した物を低溫度で加熱するが如きはそれである、但し此の場合は加熱溫度が高くなるとそれ従つて著しき組織的變化を起し他の諸性質の上にもそれに相當する異常變化を生ずるから予め實驗研究を行つて適切なる熱處理の溫度其の他を定めて置く必要がある。

3) 水素瓦斯に依り脆性を帯びたる場合 鋼材は水素を吸藏すると脆弱になるが其他筆者の實驗に依ると高溫度に於て水素は鋼材を比較的容易に浸透し之を脆弱ならしむるのみならず、長く放置しておくとも微細なる龜裂を發生する。近代の合成化學工業(アンモニヤ合成、石炭液化等)に於ては高壓高溫の水素が鋼材に接觸する場合が起り得るのであるが、永年使用すると鋼材の變化を來し破損を生じないとも限らない。Ni-Cr鋼が高溫度の水素瓦斯に接觸して居た爲衝擊値が1/10に減少したと云ふ實例もある。斯る場合にも之を焼入、焼戻すると再び元の靱性を恢復するのであるから龜裂の發生せざる間に時々熱處理を行ふが如き

適當の處置を採る事が肝要である。

4) 銲接材の歪除去 近年電氣銲接が著しく發達して來たが銲接した物には内部歪力がどうしても残るので之が防止法に就ては何處でも非常に苦心をして居る。銲接材が加熱爐に入る程度の大きさならば焼鈍は歪除去方法として最も適當なるものである。筆者の實驗に依れば400°C迄の加熱では困難であるが500°Cを越えると急に内部歪力が減少する様である。電氣銲接が發達するに連れて歪除去及び組織の改善策として熱處理は益々利用される様になるであらう。

### IV. 鋼材以外の金属材料の熱處理

熱處理は單に鋼材に許り施されるのではなく最近に於ては鑄鐵、銅合金、輕合金等に對しても其の効果を擧げて居る。

1) 鑄鐵鑄物 鑄物は形狀の複雑寸法不平等に依り鑄造後固形となるに従つて部分的に冷却速度を異にし従つて内部に歪力を生じ放置すると龜裂或は破損の原因となる怖れがある。それで此の内部應力を除去する爲焼鈍作業を必要とする。但し餘り高熱にすると材質に變化を來す許りでなく變形を生ずるから其の溫度には自ら制限がある。普通の場合には600°C位に6~10時間保ち、焼鈍に2晝夜以上をかけて冷却する位が適當の様である。最近低珪素鑄鐵或はNi-Cr鑄鐵の如きものが發達し來り高張力鑄鐵としての眞價を發揮する爲に適切なる焼鈍或は焼入、焼戻が行はれる様になつて來た。簡單なる形狀で而も強力なる事を要求せらるる部分には此の種鑄物が次第に用ひられるべく鑄物の熱處理も又重要となるであらう。

2) 銅合金 銅合金に就ても最近往々にして熱處理が用ひられる。例へばNi或はMnの珪化物が銅中にある場合焼戻硬化を生ずる現象を利用して銅にNi, Mn, Si等を加へ焼入焼戻に依つて其の機械的性質を良好ならしめんとするが如きはそれである。斯の如き合金は焼入状態で柔軟であるので任意の形狀に冷溫加工し其の後焼戻して硬化せしむれば強度を著しく増進する事が出来る。

3) 輕合金 チュラルミンが熱處理に依つて其の性能を發揮して居る事は周知の事實であるがチュラルミン許りでなく最近に於ける各種打物用輕合金の大部分は、熱處理を施す、其の硬化を與へる成分はCuAl<sub>2</sub>, MgSi, MgSi+CuAl<sub>2</sub>, MgZn<sub>2</sub>等種々異なれ共何れも適切なる溫度に

加熱急冷し然る後低温度で時効硬化を起させる事に依つて其の機械的性質の改良を計つて居るのである。輕合金が我國に於て製造せらるゝに到つたのは最近の事であるが今や非常な勢で發達しつつある。輕合金の熱處理に關する理論及び實際の處理法が良く研究され理解せらるゝに到た事も預つて力ありと信ずる。

## 結 言

最近廿年間の本邦に於ける熱處理に關する技術の進歩は前述の如く素晴らしいものであるが理論的研究の餘り行はれざりし以前に於て特殊鋼の製法殊に大形鋼材の製造技術

を外國から移入し之を我國に於て工業化せしめた諸先輩の偉大なる努力苦心には深甚なる敬意を表せざるを得ない。

金屬材料の取扱ひ或は熱處理に就てはまだまだ完全なりとは稱し難く解決を要する問題は多々ある。將來に於ても特殊銅合金、輕合金等は益々進歩發展するであらうが熱處理の助力なしでは其の性能の發揮は殆ど不可能と云つて差支へない。熱處理の理論的並びに實際的研究は一刻も忽にする事は出來ないのであるが筆者の簡單なる記述が今日金屬材料を取扱つて居られる方々に何等かの御役に立つ事があれば本懷之に過ぎるものはない。