

ニッケル・クロム鋼代用鋼の研究

(日本鉄鋼協会第23回(第4回工学大会)講演 昭和15, 4)

錦 織 清 治・浅 田 千 秋*

ON THE STUDY OF THE SUBSTITUTE FOR NICKEL-CHROMIUM STEELS.

Seiji Nishigori and Chiaki Asada.

SYNOPSIS:—To find the substitute for the most valuable nickel-chromium structural steels, investigations were made in the following three lines:

(1) Statistical studies were performed on the physical and other properties of several steels now in current use. As the substitute for low-nickel-chromium steel ($C\ 0.3\sim 0.4$, $Ni\ 1.0\sim 1.5$, $Cr\ 0.5\%$), all of chromium steel ($C\ 0.4\sim 0.5$, $Cr\ 1.5\sim 2.0\%$), 75-kg chromium-molybdenum steel ($C\ 0.25\sim 0.35$; $Cr\ 0.8\sim 1.2$; $Mo < 0.3\%$) and 80-kg chromium-molybdenum steels ($C\ 0.4\sim 0.5$, $Cr\ 1.5\sim 2.0$, $Mo < 0.5\%$) were found to be suitable, especially the second being best.

(2) New kinds of alloy steel were found, which contain less nickel and increased chromium and manganese as follows:

C%	Mn%	Ni%	Cr%	Mo
0.1~0.15	1.0~1.5	1.5~2.5	2.5~3.5	<0.5%(Suitable for carburized parts)
0.28~0.35	0.8~1.5	1.5~2.0	2.5~3.5	<0.65

Properties of both of these steels were almost equal to nickel-chromium steels with 4~5% Ni, which had been thought the highest in quality among steels used now.

(3) Other new kinds of alloy steels were found, which contain silicon, manganese and chromium, but no nickel, as follows:

C%	Si%	Mn%	Cr%
<0.15	1.0	1.0	1.0 (Suitable for carburized parts)
0.25~0.35	1.0	1.0	1.0 (2.0, 5.0)
0.50~0.60	1.0	1.0	1.0 (2.0, 3.0)

All of these steels proved to have sufficient strength, but being a little short of impact value on account of their tendency to grain-growth and of rather much non-metallic inclusions. Nevertheless, when properly handled, they could be used for automotive and other machine parts as the substitute for 3~5% nickel-chromium steels.

内 容

I. 緒 言

II. 現用代用鋼の諸性質の検討

- a) 化学組成及機械的性質の統計的研究 b) 熱処理と機械的性質

III. Ni・Cr 鋼代用鋼の新鋼種の研究

- a) ニッケルを節約せる場合($Cr\cdot Mn\cdot Ni\cdot Mo$ 又は $Cr\cdot Ni\cdot Mo$ 鋼) 1) 概要 2) 試料の調製及変態点測定 3) 熱処理と機械的性質 イ) 滲炭鋼 ロ) 強靱鋼
- b) Ni を全然使用せざる場合($Si\cdot Mn\cdot Cr$ 鋼) 1) 概要 2) 試料の調製及変態点測定 3) 熱処理と機械的性質 イ) 滲炭鋼 ロ) 強靱鋼
- c) 新鋼種と在來の鋼種との機械的性質比較

IV. 結 論

I. 緒 言

Ni・Cr 鋼は周知の如く構造用鋼中最も重要なものである。然るに我が國に於ては Ni の産出殆んどなく又現下の

如き狀勢に於ては外國よりの入手も極めて困難である。同じく自國に Ni の産出なき獨逸に於ては Cr 鋼或は Cr・Mo 鋼を以て Ni・Cr 鋼を置き換へる事に努め航空機用鋼中 Ni・Cr 鋼は殆んど使用して居らず、而も今回の如き目覺しき戰果を挙げつゝある。かゝる状態であるから我が國としても一刻も速く適當なる代用鋼に就て研究を行ひ國策の遂行に些かでも支障なからしめる様にせねばならぬ。

Ni・Cr 鋼の代用鋼に關しては既に各國に於て研究され Cr 鋼に關する Kothny 氏¹⁾ Maurer & Hohage 氏²⁾ Barton 氏³⁾ の研究 Cr・Mn 鋼に關する Guillet 氏⁴⁾ Kothny 氏⁵⁾ Barton 氏⁶⁾ 等の研究、又 Cr・Mo 鋼に關する Johnson 氏, Camp & Francis 氏。最近には H. Voss u. F. Kramer 氏⁷⁾ の研究等がある、又我が國に

¹⁾ St. u. Eisen 1934, S. 1341

²⁾ St. u. Ei. 1922 S. 60

³⁾ Heat Treat & Forging Feb. 1923 p. 102

⁴⁾ J. Iron & Steel Inst. 1936 II. p. 101~109

⁵⁾ St. u. Ei. 1914 1340

⁶⁾ Heat. Treat. & Forging Feb. 1923 p. 102

⁷⁾ St. u. Ei. 1939 S. 913~920

於ても著名な研究があり、其の二三を挙げれば吉川博士⁹⁾の Cr 鋼の研究、渡邊博士¹⁰⁾の Mn・Cr 鋼の研究、尾藤、石田博士¹¹⁾の Cr・Mo 鋼に就ての研究等がある。是等の鋼種に依り大體現用の Ni・Cr 鋼の代用は果し得るものと思ふが高 Ni・Cr 空気焼入鋼の如きは最近發達したものであり或は上述の諸鋼種で満足し得られない點が無いでもない。

又現用鋼種中に Ni を含有せざるものも多數あるから新鋼種を採用するよりも是等の諸鋼種の諸性質を比較検討して現用鋼種によつて代用せしむる方が製造者使用者共に好都合である。依て著者等は本論文に於て先づ現用 Ni・Cr 鋼代用鋼の中、低 Ni・Cr 鋼(1~2% Ni) 程度に相當する。鋼種の代用となるべき鋼種4種に就き、其の諸性質の統計的研究を行つて代用鋼としての適否を調査した。

次に高 Ni・Cr 強靱鋼及滲炭鋼の代用鋼として Ni の含量を約半減し Cr 及 Mn 含量を高めた鋼種に就き研究を行ひ、更に又經濟的意味から高價なる元素を全く含有せざる鋼種を求むる意味で別に Si, Mn, Cr を含有せる鋼種の諸性質を調べた。

II. 現用代用鋼の諸性質の検討

a) 化學組成及機械的性質の統計的研究 低 Ni・Cr 鋼, Mn 鋼, Cr 半硬鋼, 75kg Cr・Mo 鋼, 80kg Cr・Mo 鋼を選び之等に就て其の化學組成及機械的諸性質に就て昭和 9, 10, 11 年の三期間の實際製品に就き統計的研究を行つた。之等鋼種の化學成分及機械的性質の規格範圍は大々第1表第2表に示す如くである。統計の結果は横軸に合金元素の含量及機械的性質の量を取り縦軸に之等の値を有する試験片の全試験片に對する百分比を取つてグラフに示した。其の一例を示すと第1圖及第2圖の如くである¹¹⁾。

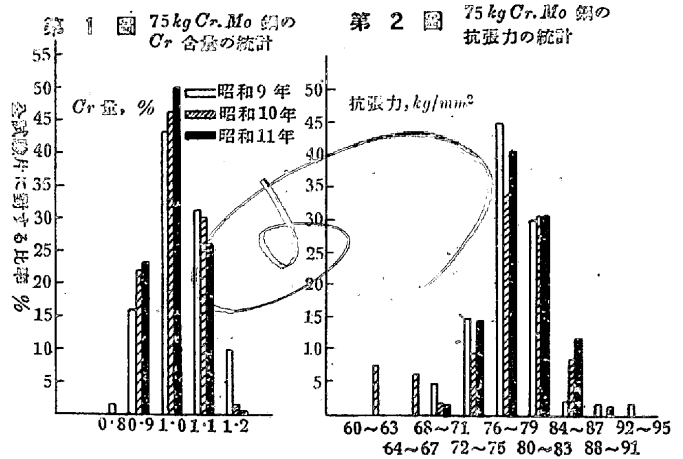
即ち之等のグラフ中の垂線の頂點は一種の確率曲線を描

第1表 代用鋼の化學成分規格

鋼種	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
低 Ni・Cr 鋼	0.3~0.4	<0.35	<0.6	<0.03	<0.03	1.0~1.5	0.4~0.8	—
Mn 鋼	0.40~0.55	"	1.2~1.6	"	"	—	—	—
Cr 半硬鋼	0.40~0.50	"	<0.60	"	"	—	1.5~2.0	—
75kg Cr・Mo 鋼	0.25~0.35	"	"	"	"	—	0.8~1.2	<0.3
80kg Cr・Mo 鋼	0.4~0.5	"	"	"	"	—	1.5~2.0	<0.5

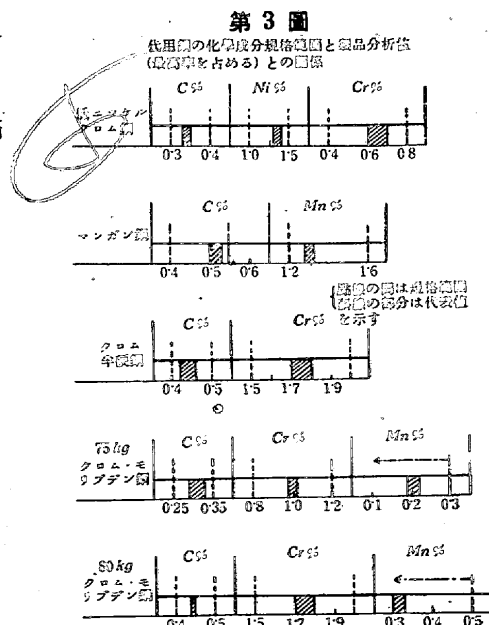
第2表 代用鋼の機械的性質規格

鋼種	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	シャルピー kg-m/cm ²	ブリネル硬度
低 Ni・Cr 鋼	>50	>70	>25	>50	>14	200~258
Mn 鋼	60~70	75~95	22~14	50~40	15~7	220~270
Cr 半硬鋼	>65	>80	>15	>50	>10	241~293
75kg Cr・Mo 鋼	>60	>70	>22	>50	>12	200~280
80kg Cr・Mo 鋼	>65	>80	>15	>50	>10	241~293



第3表 代用鋼の機械的性質の代表値と規格との關係

機械的性質	低 Ni・Cr 鋼	Mn 鋼	Cr 半硬鋼	75kg Cr・Mo 鋼	80kg Cr・Mo 鋼
降伏點 規格 kg/mm ²	>50	40~50	>65	>60	>75
降伏點 代表値 kg/mm ²	62~69	52~55	73~76	57~66	82~85
抗張力 規格 kg/mm ²	>70	60~70	>80	>75	>90
抗張力 代表値 kg/mm ²	77~80	80~83	88~91	76~79	91~94
伸 % 規格	>25	20~28	>15	>20	>22
伸 % 代表値	28~29	24~25	24~25	26~27	24~25
絞 % 規格	>50	45~55	>50	>50	>50
絞 % 代表値	68~71	48~51	63~66	69~72	62~65
ブリネル 規格	200~258	170~210	241~293	212~269	250~300
ブリネル 代表値	240~249	210~219	260~269	240~249	260~269
シャルピー規格 kgm/cm ²	>14		>10	>12	>9
シャルピー代表値 kgm/cm ²	19~20		15~18	23~24	16~17
熱處理 狀態	825~875°C C油中 約 650°C 油中	850°C C油中	800~850°C C油中 600~650°C C油中	850~900°C C油中 600~650°C C油中	800~850°C C油中 620~700°C C油中



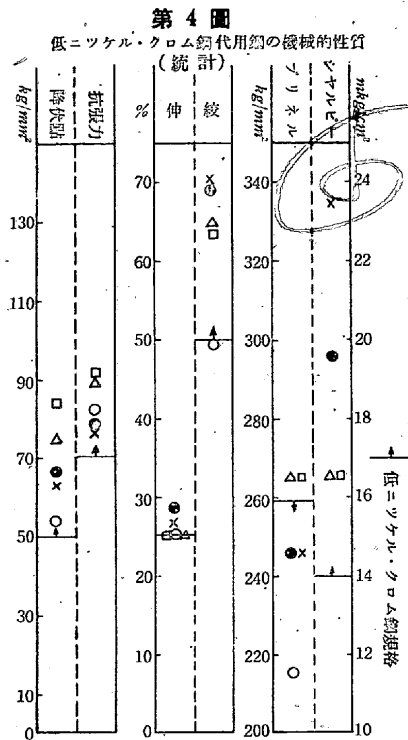
くもので、この曲線の形狀によりその鋼種が如何なる確實さの許に製造されて居るか。又曲線の頂點を占めるもの即ち最も率多く製造されるものが所定の規格に合格するや否やと言ふ事を判断する事が出来る。之等のグラフを總て掲載する事は省略し

9) 鉄と鋼 大正 13 年 2 月

10) 鉄と鋼 昭和 2 年 6 月

11) 鉄と鋼 昭和 10 年 5 月

12) 詳細は電氣製鋼第 14 卷第 2 號参照



第4圖の説明

鋼種	記號	O	Mn	Ni	Cr	Mo	熱處理
低Ni・Cr鋼	●	0.3-0.4	<0.6	1.0-1.5	0.4-0.8		825~875°油冷
Mn鋼	○	0.40-0.55	<0.60	1.2-1.6	1.5-2.0		650°C油冷
Cr半硬鋼	△	0.40-0.56	"		0.8-1.2		850°C焼鈍
75kg Cr・Mo鋼	×	0.25-0.35	"		<0.8		800~850°油冷
80kg Cr・Mo鋼	□	0.4-0.5	"		1.5-2.0		600-700°油及大氣中

て、その総合の結果を示すと第3圖第3表、第4圖等の如くである。

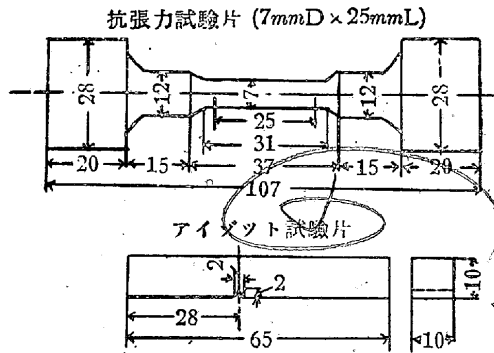
第3圖は製品の化學分析の結果に對して如何なる位置にあるかを示せるもので一見して明らかな様に何れも其の最高率を示す部分が充分規格範囲に含まれて居る。又第3表は表示の如き熱處理を施したものの機械的性質中、最高率を示す値と規格範囲との關係を表示せるもので、Mn鋼の硬度が稍高い以外は充分規格範囲に入る事が判る。第4圖は各鋼種間の機械的性質の近似を見易くする爲に第3表を圖示せる結果である。之に依て見ると低Ni・Cr鋼に最も近似した機械的性質を有するものは75kg Cr・Mo鋼で唯衝撃値に於て後者的の方が著しく優れて居る。其の他の鋼種は何れも低Ni・Cr鋼より更に強力な

鋼種であり之を低Ni・Cr鋼の規格範囲と比較して見ると伸に於て稍低目で硬度に於ては稍高目であるが、之は適當な熱處理温度の撰擇により容易に調節し得るものである。Mn鋼は焼鈍状態の數値であるが同圖より見れば強さは充分出るが調質状態に於て伸、絞等が果して合格するや否やは不明である。又Cr半硬鋼と90kg Cr・Mo鋼は其の

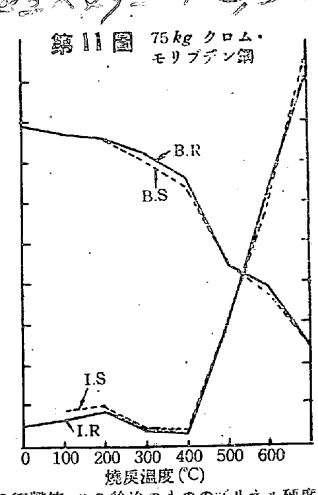
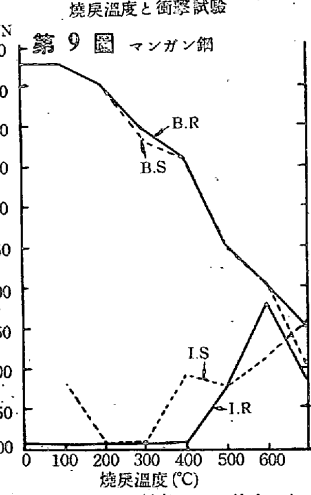
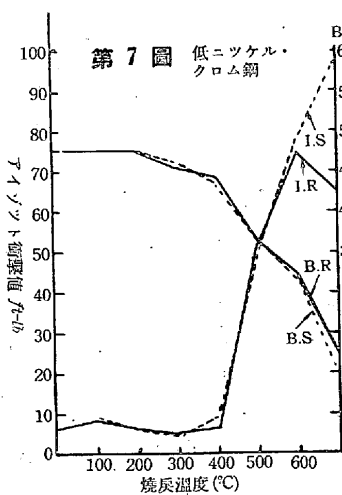
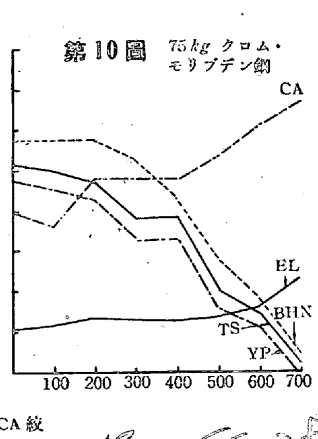
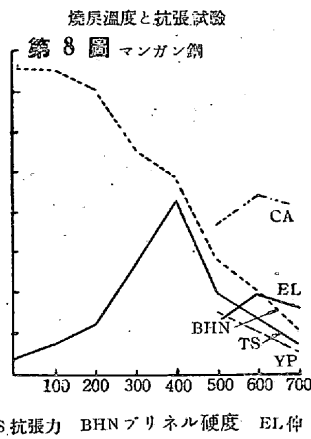
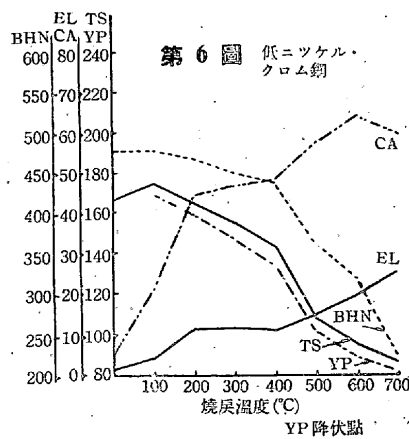
第4表 使用せし代用鋼の分析値

鋼種	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Cu%	Ni%	Cr%	Mo%
低Ni・Cr鋼	0.34	0.19	0.51	0.013	0.006	0.19	1.42	0.52	—
Mn鋼	0.53	0.20	1.31	0.030	0.009	0.20	—	—	—
75kg Cr・Mo鋼	0.32	0.25	0.48	0.022	0.013	0.17	—	0.96	0.21

第5圖 機械試験片



化學成分の點から極めて近似して居るが後者が降伏點に於て優て居るものはMo添加の影響と考へられる。
b) 熱處理



I.R 急冷のものの衝撃値 B.R 急冷のもののブリネル硬度 I.S 徐冷のものの衝撃値 B.S 徐冷のもののブリネル硬度



と機械的性質 前項に於て統計的研究を行た鋼種の中より低 Ni-Cr 鋼, Mn 鋼, 75kg Cr-Mo 鋼の三鋼種を選び之等の鋼種を現用規格硬度範囲外の硬度で使用せんとする場合の参考数値を得る爲に諸熱処理条件下に於ける機械的性質を研究した, 使用した鋼種の化學成分は第4表に示す如くである.

機械試験片は第5圖の如きものを使用し焼入後 100~700°C 間を 100° 置きに焼戻を行た. 衝撃試験片は焼戻脆性の有無を見る爲に焼戻後急冷及徐冷を行た. 第5圖は之等の機械的性質を圖示せるものである.

低 Ni-Cr 鋼(第6, 7圖)に就て見ると 100kg/mm²以上の強さを得るには 500°C 以下の焼戻でなければならぬ. 又衝撃値は 400°C 以上の焼戻に依て温度上昇につれ急によくなる. 焼戻脆性は餘り著しく現れて居ない.

Mn 鋼では 500°C 以下の焼戻では殆んど伸がない.(第8圖). 又衝撃試験では(第9圖). 650°C 以上で焼戻脆性が反對になって居る.

75kg Cr-Mo 鋼では低温焼戻で比較的伸が良く出て居る.(第10圖) 又衝撃試験の結果から(第11圖) 本鋼種には全然焼戻脆性が現はれない事が判る.

更に第6~11圖を比較して見ると Mn 鋼は伸, 衝撃値等の點に於て他の二者より稍劣て居るが低 Ni-Cr 鋼と 75kg Cr-Mo 鋼とは其の機械的性質が良く近似して居る事が判る.

III. ニッケル・クロム鋼代用鋼の新鋼種の研究

a) Ni を節約せる場合 (Cr-Ni-Mo 又は Cr-Mn-Ni-Mo 鋼) 1) 概要 前節に於ては Ni 1~2% 程度の低 Ni-Cr 鋼の代用鋼に關して検討したが本項に於ては更に強力なる Ni 3~5% を含有する高 Ni-Cr 鋼の代用鋼として Ni を節約して Cr 及 Mn 量を増加せる Cr-Mn-Ni-Mo 鋼及 Cr-Ni-Mo 鋼に就て其の諸性質を検討せる結果を述べる. 蓋し現在實用せらるゝ鋼種中には此の種高 Ni-Cr 鋼の代用たるべき諸性質を有する鋼種は

第11表 高 Ni-Cr 鋼代用鋼の組成範囲

番 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
滲炭鋼 1	0.10-0.15	<0.35	1.0-1.5	<0.030	<0.030	1.5-2.5	2.5-3.5	<0.50
" 2	0.10-0.18	"	<0.60	"	"	2.5-3.5	"	0.50-0.70
強靱鋼 1	0.28-0.35	"	0.8-1.5	"	"	1.5-2.0	"	<0.65

見當らなく新鋼種を求めねばならない. 此の際 Ni を全く使用せざる鋼種では之等の諸性質は保證し難いから Ni の使用量を出來る丈に節約せる鋼種に就て研究した. 試験した鋼種の組成範囲は第11表の如くである.

Ni-Mn 鋼は既に C 0.2~0.5, Mn 0.6~0.9, Cr 0.6~1.0 程度のものが米國其の他に於て低 Ni-Cr 鋼の代用として主として自動車用に用ひられ, 又本邦に於ても既述の渡邊博士の研究になる C 0.2~0.40, Mn 1~1.5, Cr 0.5~1.0 なる組成を有するものがマクロンなる商名の下に實用されて居る. 第11表の滲炭鋼1及強靱鋼1は之等より更に強力なるものを目的として Cr 量を約 3% に増加し, 更に焼戻脆性, 加熱に對する敏感性等の缺點を補ふ爲に Mo を少量添加せるものである. 又滲炭鋼1'は從來 110kg 級の強靱鋼として使用されて居たものを炭素量のみ減じて滲炭鋼として試みたものである.

2) 試料の調製及變態點測定 熔解は 10kg 研究用誘導爐にて行ひ各鋼種に就て 2 チャージ宛熔製した. ライニングは MgO を用ひた製品の分析値は第12表及第13表の如し.

第12表 滲炭鋼の分析値

番 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
滲炭鋼 1	0.11	0.54	1.14	0.019	0.014	1.77	2.86	0.37
" 1'	0.12	0.27	1.33	0.026	0.008	2.17	3.01	0.39
" 2	0.14	0.21	0.21	0.014	0.008	3.17	2.94	0.61
" 2'	0.15	0.20	0.55	0.024	0.008	3.17	2.95	0.57

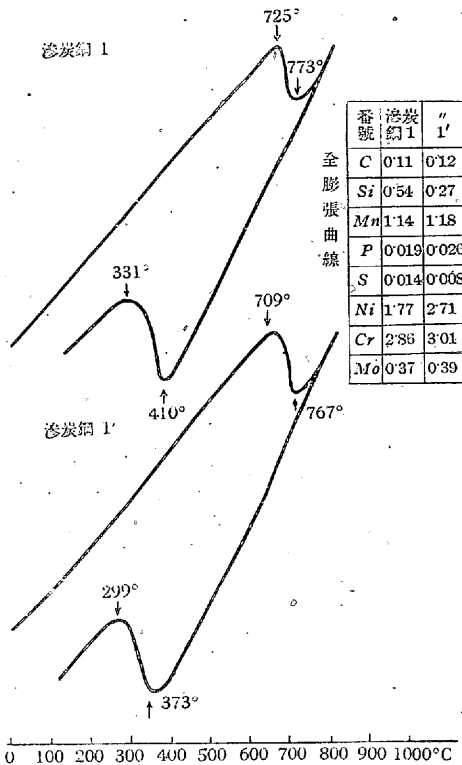
第13表 強靱鋼の分析値

番 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
強靱鋼 1	0.27	0.30	1.32	0.015	0.017	2.18	2.87	0.41
" 1'	0.29	0.23	1.24	0.028	0.012	1.87	3.09	0.36
" 1''	0.30	0.23	1.15	0.027	0.012	1.96	2.99	0.30

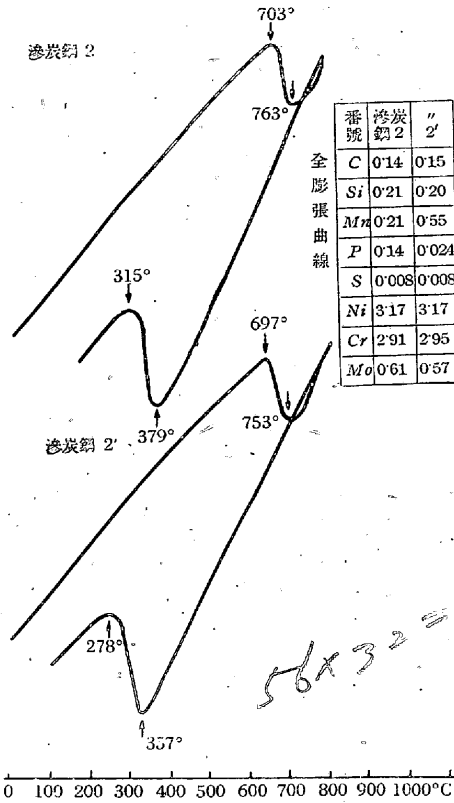
* 試料不足の爲追加熔製せるもの

上記6個の(強靱鋼1'を除く)10kg 鋼塊を黒皮の儘石炭爐に於て約 750°C × 2h 豫熱し次に重油爐に於て約 1,100°C × 1h 焼き 1/2t 蒸氣爐にて 20mm 丸の棒に鍛伸した. 鍛伸後, 素材に就て鍛伸状況を調べて見ると, 表面割を生じて居るものが二, 三あった. 之は鋼棒が細い上に鍛伸速度が遅い爲に温度が下る事が避け難く, 且鋼材の自硬性が極めて大である事に起因すると考へられる. 故に鍛造温度は餘り低温に下らざる様に注意し且鍛伸後は必ず徐冷を施す事が必要である. 強靱鋼1''のみはロールにて 20mm 丸に壓延した. 鍛伸後の素材は總て一度 850°C 焼準, 670°C 焼鈍を行た, 硬度變化は第14表の如し. 之によると鍛伸の儘空冷で焼が入る事が判る. 又強靱鋼の焼鈍温度は -700°C 位に高めた方がよい.

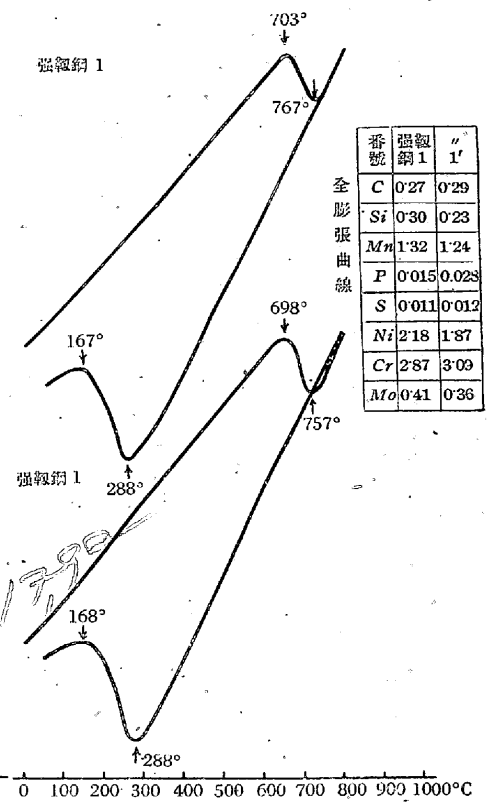
第 12 圖 全膨脹曲線



第 13 圖 全膨脹曲線



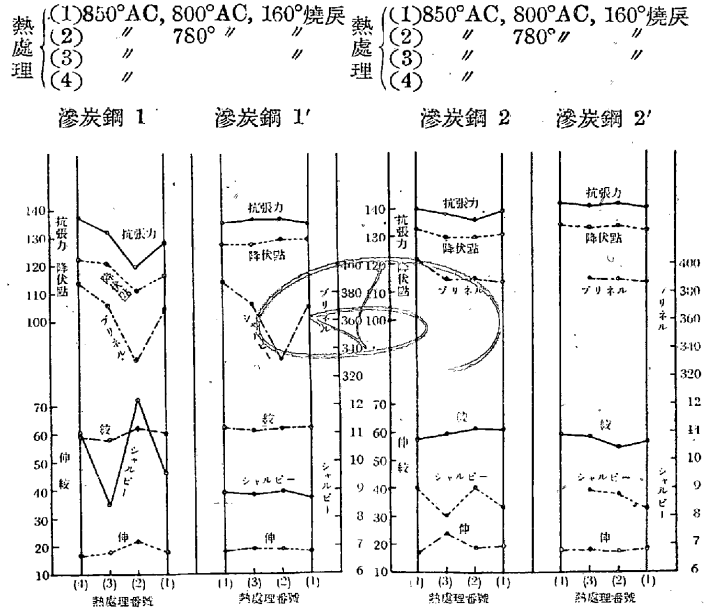
第 14 圖 全膨脹曲線



第 14 表 焼鈍による硬度変化

番号	鍛伸の儘 (除冷せず)	600°C × 20'		670°C × 10	
		熱 A	熱 C	A	C
滲炭鋼 1	349	363	239		
" 1'	366	365	285		
" 2	368	363	255		
" 2'	388	373	269		
強靱鋼 1	478	444	302		
" 1'	478	444	302		
" 1''	495		255		

第 15 圖 滲炭鋼の機械的性質 第 16 圖 滲炭鋼の機械的性質



上記の如く焼鈍せる素材よりディラト試料を作り変態点を測定した。第 12, 13, 14 圖はその全膨脹曲線を示す、之に依て見ると何れも爐冷により変態点の降下を示して居る。又 Ac_1, Ac_3 点は普通の高 $Ni \cdot Cr$ 鋼に比し 20~30°C 低目である。

3) 熱処理と機械的性質、焼準、焼鈍せる試料より、抗張試験片は前節と同様 7mm 丸 × 25mm 長さのもの、衝撃試験片は 10mm 角 × 55mm 長さのものを製作し、夫々熱処理後機械的試験を行った。

イ) 滲炭鋼 機械試験片の熱処理は第 15 表の如く 4 種に就て行た。

試験片は各熱処理に就て 2 個宛採た、機械的試験の結果は第 16 表及第 15, 16 圖に示す如くである。

先づ滲炭鋼 1, 1' を圖に就いて見ると 1 の方は熱処理

(2) に於て抗張力、降伏点、硬度は最低で、衝撃値、伸、絞は最高を示して居る。

1' の方は硬度が 1 と同様熱処理 (2) に於て最低を示し

第16表 滲炭鋼の機械的性質

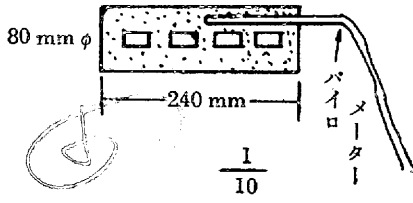
試片 番 號	降 伏 點		抗 張 力		伸		絞		シャルピー		硬 度		熱 處 理		
	kg/mm ²	平均	kg/mm ²	平均	%	平均	%	平均	kgm/cm ²	平均	ブリネル	平均	1次 焼入	2次 焼入	焼戻
1-1	120.1	116.4	130.6	128.3	17.2	18.0	58.0	60.2	9.76	9.60	371	369	858°C	800°C	160°C
1-2	112.6		125.9		18.8		62.4		9.44		366		空冷	空冷	油蒸
1-3	113.0	111.0	119.3	119.6	20.0	21.8	61.7	61.6	12.38	12.22	331	333		780°C	
1-4	109.1		120.0		23.6		61.5		12.05		335			空冷	
1-5	120.5	121.3	132.7	132.0	17.2	18.2	58.3	58.2	8.48	8.52	368	372			
1-6	122.1		131.3		19.2		58.2		8.18		375				
1-7	122.7	123.0	130.8	137.5	16.0	16.6	56.6	59.3	11.39	10.99	388	388			
1-8	123.4		144.3		17.2		61.9		10.58		388				
1'-1	128.6	129.1	134.9	135.5	19.2	18.2	63.4	61.7	8.81	8.65	371	369		800°C	160°C
1'-2	129.6		136.1		17.6		60.0		8.49		366			空冷	油蒸
1'-3	129.6	128.8	136.1	136.1	18.0	18.8	61.8	61.7	9.13	9.45	331	333		780°C	
1'-4	128.0		136.1		19.6		61.6		9.76		335			空冷	
1'-5	127.0	127.3	133.7	136.0	18.4	19.2	60.2	61.1	8.97	8.42	368	372			
1'-6	127.5		138.2		20.0		62.0		7.86		375				
1'-7	127.5	127.4	136.9	134.6	18.4	18.4	61.5	61.7	8.49	8.65	388	388			
1'-8	127.3		132.3		18.4		61.9		8.81		388				
2-1	130.6	130.5	139.6	139.4	18.1	18.4	58.0	60.8	8.49	8.34	388	387		800°C	160°C
2-2	130.3		139.1		18.0		63.5		8.18		385			空冷	油蒸
2-3	129.0	123.5	133.3	135.6	18.4	18.8	61.7	61.0	8.65	8.97	390	389		780°C	
2-4	128.0		138.0		19.2		60.3		9.28		388			空冷	
2-5	129.5	129.5	138.5	138.3	21.2	20.4	58.5	59.2	7.86	8.02	390	389			
2-6	129.5		138.0		19.6		59.9		8.18		388				
2-7	133.0	132.9	140.5	139.8	17.2	17.0	56.8	57.8	9.13	8.97	406	404			
2-8	132.7		139.1		16.8		58.7		8.81		401				
2'-1	131.9	132.0	139.2	139.9	18.4	18.4	56.5	56.5	8.49	8.29	388	387		800°C	160°C
2'-2	132.2		140.5		18.4		56.5		8.18		385			空冷	油蒸
2'-3	134.1	128.6	141.9	141.8	16.8	17.4	52.6	54.5	8.18	8.85	390	389		780°C	
2'-4	133.1		141.4		18.0		56.5		7.86		388			空冷	
2'-5	132.3	132.9	140.1	140.5	18.0	18.0	58.3	58.3	7.86	7.94	390	389			
2'-6	133.6		140.9		18.0		58.3		8.02		388				
2'-7	134.0	133.8	142.2	141.6	18.0	17.8	56.6	58.9	なし		なし				
2'-8	133.5		140.9		17.6		61.2		なし		なし				

て居る以外は他の性質は殆んど変化はあらはれて居らぬ。抗張力は充分出て居るから、硬度及び衝撃値から考へると熱処理(2)が適當と考へられる。滲炭鋼 2, 2' に於ては熱処理に依る相違は餘り著しく現れて居らぬが、二次焼入を行ふ熱処理(1)(2)の中何れでも良いであらう。

次に之等の機械的性質を現在航空機用として用ひられて居る。最強力の肌焼高 Ni·Cr 鋼(C 0.10~0.15, Ni 4.0~5.0, Cr 0.7~1.0, Mo <0.50) の規格及代表値と比較して見ると第 17 表の如くである。之に依て見ると滲炭鋼 1 は現用最高級の高 Ni·Cr 肌焼鋼に匹敵するものであり、滲炭鋼 2 は之より更に強力なものなる事が判る。又降伏點は何れも著しく高く抗張力の 94% を示して居る。滲炭鋼 1, 2 を比較すると前者 1% Mn, 2% Ni, 3% Cr, 後者は 3% Ni, 3% Cr であるが強さに於ては兩者とも充分であるから伸、絞、衝撃値等に於て優て居る。滲炭鋼 1

の方が Ni 節約の點からも、機械的性質の點からも有利であらう。今之を上述の 4~5% Ni の高 Ni·Cr 滲炭鋼に

第 17 圖 滲炭函の圖



代用するとせば 2~3% Ni の節約が出来る事となる。

次に上記滲炭鋼 4 種(1, 1', 2, 2')に就て 18mm 丸, 30mm 長の滲炭試料を製作し第 17 圖の如き軟鋼製鐵筒中に試料 4 個宛装入し滲炭實驗を行た。滲炭温度は總て 900°C に保ち 5, 10, 25h の 3 種に就き行た。滲炭剤は日本熱練工業所製の B. T. 滲炭剤を粉碎し約 40 mesh にして用ひた。滲炭終了後試片は函中にて爐冷し、更に函中に入れた儘 600°C×2h 空冷, 650°C×2h 空冷の低温焼鈍を行た。表面硬度の變化は第 18 表の如し。第 18, 19 圖は滲

炭後低温焼鈍せるものゝ組織の一例を示す。之に依ると滲炭組織は何れも良好で異常組織も現れて居らず亦結晶粒の粗大化も殆んどない。

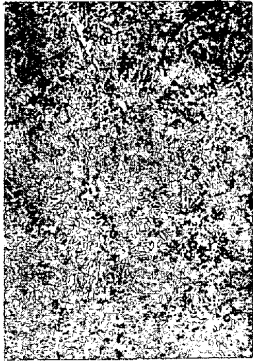
第 17 表 滲炭鋼の機械的性質の比較

鋼 種	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏點 抗張力 × 100 %	伸 %	絞 %	ブリネル 硬 度	シャルピー kgm/cm ²	備 考
肌焼高規格 Ni·Cr 鋼代表値	>90	>110	87~88	>12	>40	341~380	>7	850°C 油焼入 800°C
滲炭鋼 1	120	128	94	20.5	62	333	12	1, 1' の平均値 熱處理 2) の値
滲炭鋼 2	131	139	94	18	58	389	9	2, 2' の平均値 熱處理 2) の値

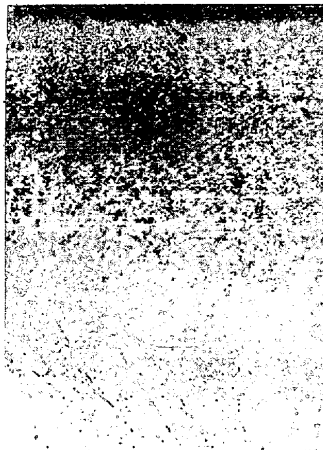
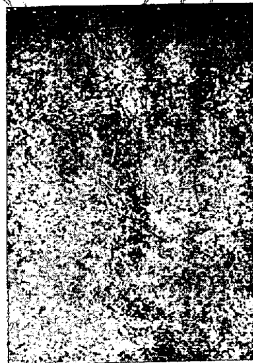
第 18 表 滲炭層の焼鈍による硬度変化

番 號	滲炭の儘	600°C × 2h A. C.	650°C × 2h A. C.	滲炭時間
1-1	63	60	52	5h
1'-1	68	62	56	
2-1	60	60	58	
2'-1	70	68	57	
1-2	60	54	52	10h
1'-2	68	63	55	
2-2	69	66	58	
2'-2	72	63	58	
1-3	55	55	52	25h
1'-3	63	63	56	
2-3	70	63	56	
2'-3	74	65	59	

第 18 圖 滲炭後の組織
900°C 滲炭途中冷却
600°C × 2h A. C.
650°C × 2h A. C.
1-2 (10h 滲炭) 心殻部
1% 硝酸アルコール腐蝕
× 300



第 19 圖 滲炭後の組織
900°C 滲炭途中冷却
600°C × 2h A. C.
650°C × 2h
2-2 (10h 滲炭) 心殻部
1% 硝酸アルコール腐蝕
× 300



1-2 (10h 滲炭) 滲炭部
1% 硝酸アルコール腐蝕
× 約 60

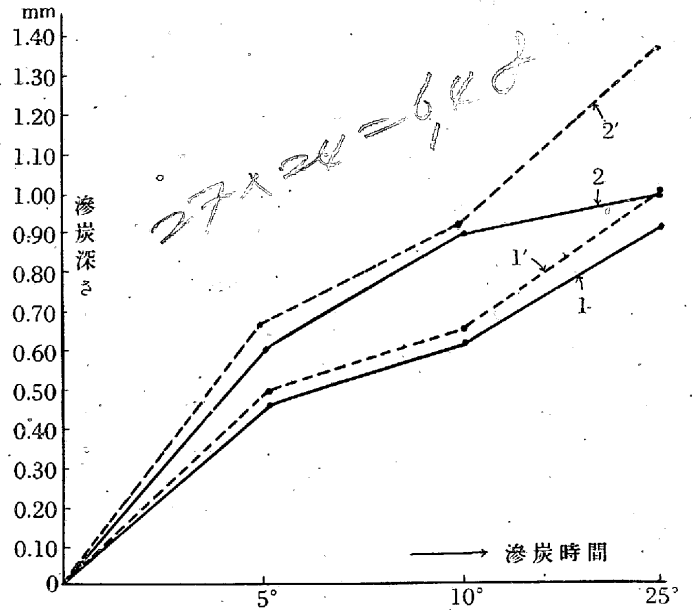


2-2 (10h 滲炭) 滲炭部
1% 硝酸アルコール腐蝕
× 約 60

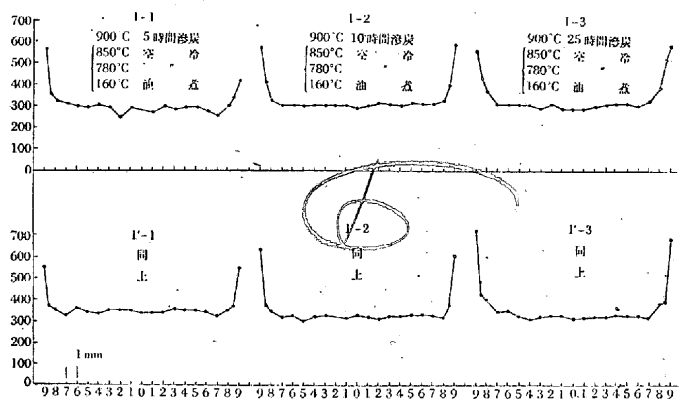
又鋼種 2 の方は 1 に比し滲炭部にマルテンサイトが多く現れて居ることから見ると前者の方が後者より滲炭性の大なる事が判る。之は第 20 圖の滲炭時間と滲炭深さ(共析部分迄)の関係よりも明らかである。

次にこの滲炭を行った試料に熱処理(2)(850°C A. C, 780°C A. C, 160°C 油煮)を施し、其の一底面上に於て中心線に沿ってヴィッカース硬度を測定した。第 21, 22 圖はそれを示す。

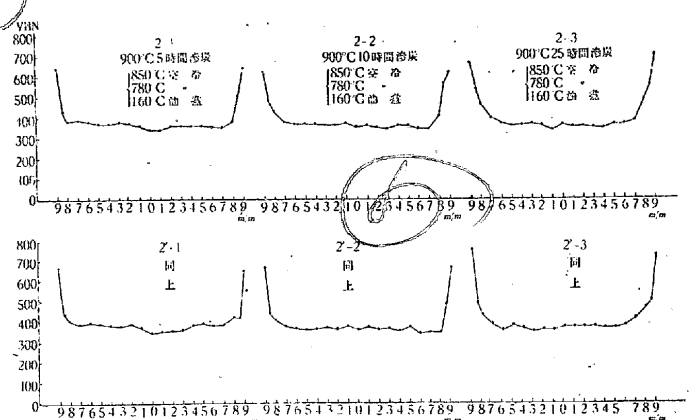
第 20 圖 滲炭時間と滲炭深さ



第 21 圖 滲炭硬度 {0 中心, 9 外側}



第 22 圖 滲炭硬度 {0 中心, 9 外側}

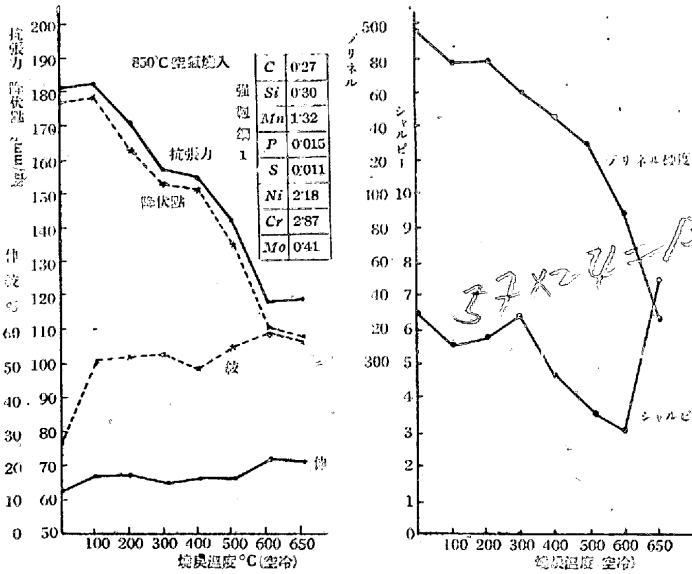


表面硬度は鋼種 1 に於ては V.H.N. 550~600 で大體高 Ni・Cr 肌焼鋼の空気焼入の場合と同等であり鋼種 2 に於ては V.H.N. 650~750 で普通のものより硬度が高い。強靱鋼 強靱鋼の試験片の熱処理は 850°C 空冷後 100~650°C 焼戻後空冷を行った。結果は第 19 表及

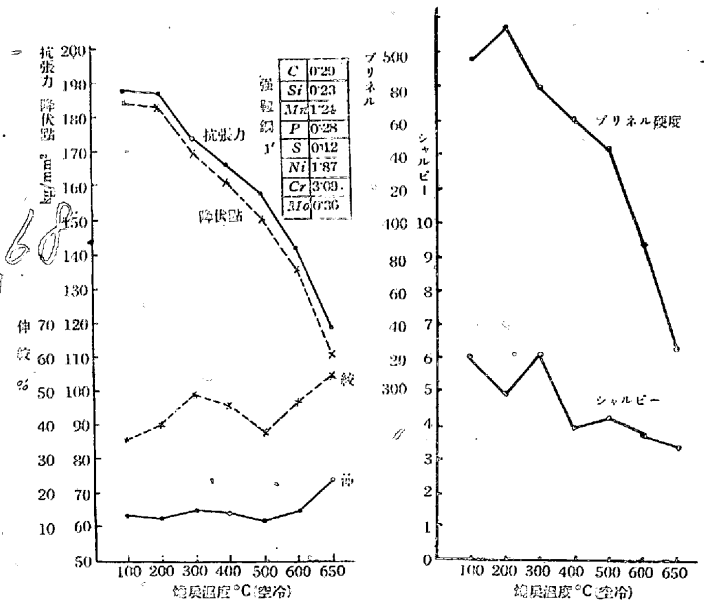
第 19 表 強靱鋼の機械的性質

試片番號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	絞%	断面 狀態	切斷 位置	シャルピー kgm/m ²	硬度ブ リネル	試験片熱處理
1--1	176.9	182.0	12.0	26.0	Cup	内	6.46	495	608°C×20 min 豫熱 850°C×10 min 空冷 100°C×30 min 空冷 200°C×30 min 空冷 300°C×30 min 空冷 600°C×20 min 豫熱 850°C×10 min 空冷
1--2	178.5	183.3	16.4	50.6	"	"	5.55	478	
1--3	162.4	171.0	17.2	52.3	"	中	5.81	461	
1--4	152.6	157.1	14.4	52.6	"	"	6.39	444	
1--5	151.0	155.0	16.0	48.4	"	"	4.73	429	
1--6	110.4	141.4	"	54.4	Rd	内	3.69	388	
1--7	110.4	117.5	21.2	58.4	"	"	3.06	326	
1--8	108.1	119.1	21.2	55.6	"	"	7.43	326	
1'--1	試片なし								600°C×20 min 豫熱 850°C×10 min 空冷 100°C×30 min 空冷 200°C×30 min 空冷 300°C×30 min 空冷 600°C×20 min 豫熱 850°C×10 min 空冷
1'--2	183.7	188.0	13.6	35.6	Cup	中	5.96	495	
1'--3	182.8	187.5	12.8	40.2	"	"	4.86	514	
1'--4	169.3	174.0	15.6	48.7	"	"	5.96	478	
1'--5	161.3	166.0	14.4	46.1	"	内	3.94	461	
1'--6	149.9	156.8	12.0	37.5	"	中	4.19	444	
1'--7	135.0	140.8	15.2	46.5	Rd	内	3.69	388	
1'--8	109.7	117.6	24.0	54.5	"	中	3.44	325	

第 23 圖 強靱鋼の機械的性質



第 24 圖 強靱鋼の機械的性質



第 23, 24 圖に示す如くである。同圖により明らかなる如く、何れも第一次焼戻脆性を顯著に示して居る。1 の方は 650°C に於て衝撃値は上昇して居るが 1' の方は 650°C に於ても猶下降して居る。更に焼戻後の冷却速度に依る第二次の脆性の温度を調べる爲に前二者と同様の組成を目標に強靱鋼 1' を新たに熔製した、分析値は第 13 表に示してある。

之を前と同様 20mm 丸に壓延し、850°C 燒準 670°C 燒鈍の後衝撃試験片を製作した、試験片の熱處理は 850°C A.C の後燒戻は水冷、油冷、爐冷の 3 種に就き 100, 200, 250, 350, 450, 550, 650°C の各温度で試片 2 本宛行た。試験結果は第 20 表及第 25 圖に示す如くである。

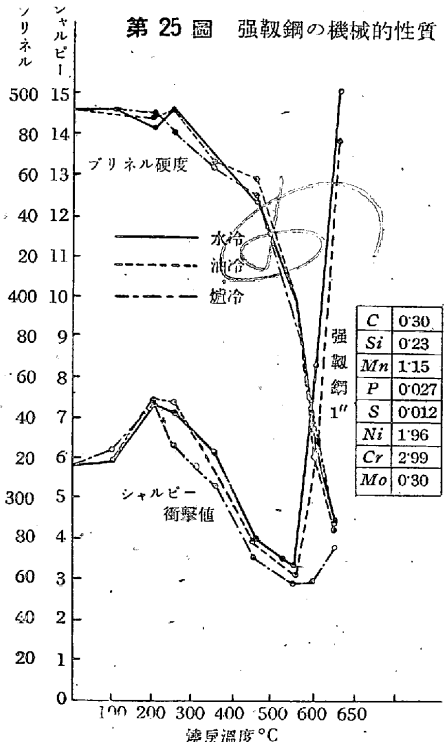
圖に就て見ると水冷、油冷のものと爐冷のものとは

550°C 以上に於て衝撃値の著しい相違を示して居り、第 2 次の脆性も亦極めて大なる事が判る。Mn 及 Cr は共に焼戻脆性に対して敏感であるから之等の鋼種の程度 (0.3~0.4%) の Mo の添加では脆性を除去する事が出来ない様である。焼戻後急冷する事は實用上不便であるから Mo 量を 0.6% 程度に増加せば脆性を減少せしめ得るや否やは更に研究を要する點である。又 200°C 附近に於て何れの場合も衝撃値が明かに増加を示して居る事も留意すべき點である。

次に之等の機械的性質を二、三の實用鋼種の機械的性質の規格及び代表値と比較して見ると第 21 表の如くなる。即ち低温燒戻のマルテンサイト組織強靱鋼としては 160kg 級の鋼種 (C 0.25~0.35, Ni 4.0~5.0, Cr 1.3~1.8,

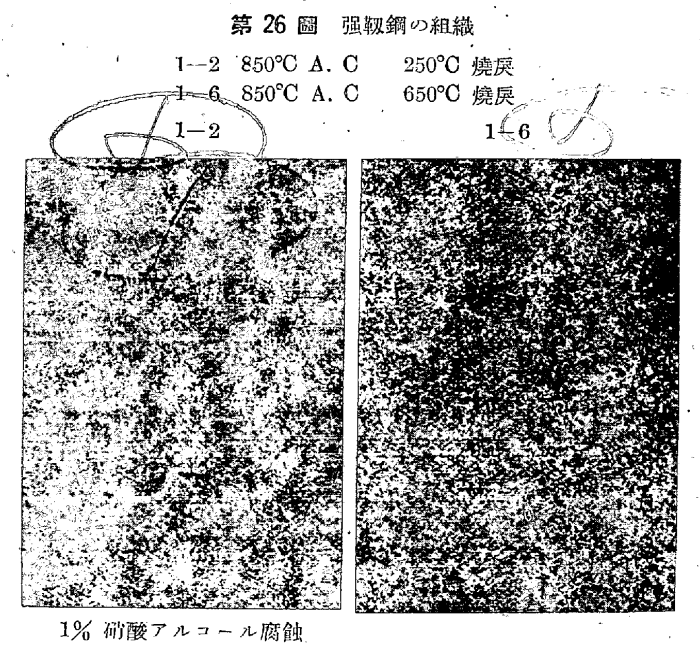
第 20 表 強靱鋼 (1'') の 衝 撃 試 験

試片番号	熱 處 理		シャルピー	平均	硬度ブ リネル	平均	試片番号	熱 處 理		シャルピー	平均	硬度ブ リネル	平均
	焼 入	焼 戻						焼 入	焼 戻				
1''A-1	1600°C×20'	2850°C×10' AC	5'34	5'82	495	491.5	11	600°C×20' 豫熱	450°C×30'	3'25	3'92	451	458
3	"	"	6'30	"	488	"	12	850°C×10' AC	"	4'58	"	457	"
4	"	100°C×30'	5'96	5'96	488	491.5	13	"	550°C×30'	3'54	3'12	401	398
5	"	"	5'96	"	495	"	14	"	"	2'69	"	395	"
6	"	200°C×30'	6'24	7'27	485	483	15	"	600°C×30'	6'51	6'04	321	319
7	"	"	7'60	"	481	"	16	"	"	6'19	"	317	"
8	"	250°C×30'	6'94	7'10	492	492	17	"	650°C×30'	13'73	13'91	285	285
9	"	"	7'24	"	492	"	18	"	"	14'09	"	285	"
10	"	350°C×30'	6'30	6'13	470	470	1''C-1	"	"	5'34	5'82	495	491.5
11	"	"	5'86	"	470	"	2	"	"	6'30	"	488	"
12	"	450°C×30'	3'98	3'98	448	448	3	"	100°C×30'	6'94	6'22	485	492
13	"	"	3'98	"	448	"	4	"	"	5'50	"	499	"
14	"	550°C×30'	2'98	3'26	395	396.5	5	"	200°C×30'	7'60	7'35	492	490
15	"	"	3'54	"	398	"	6	"	"	7'10	"	488	"
16	"	600°C×30'	7'77	8'26	321	321	7	"	250°C×30'	6'19	6'25	481	481
17	"	"	8'75	"	321	"	8	"	"	6'30	"	481	"
18	"	650°C×30'	17'20	15'07	283	284	9	"	350°C×30'	5'66	5'35	461	464
		"	15'93	"	285	"	10	"	"	5'04	"	467	"
1''B-1	"	"	5'34	5'82	495	491.5	11	"	450°C×30'	3'11	3'55	448	449.5
2	"	"	6'30	"	488	"	12	"	"	3'98	"	451	"
3	"	100°C×30'	5'96	5'96	481	490	13	"	550°C×30'	2'56	2'78	388	388
4	"	"	5'96	"	499	"	14	"	"	2'99	"	388	"
5	"	200°C×30'	7'60	7'43	492	488.5	15	"	600°C×30'	3'25	2'97	317	319
6	"	"	7'26	"	485	"	16	"	"	2'69	"	321	"
7	"	250°C×30'	7'60	7'35	492	492	17	"	650°C×30'	3'81	3'83	233	283
8	"	"	7'10	"	492	"	18	"	"	3'83	"	283	"
9	"	350°C×30'	5'96	5'81	467	465.5							
10	"	"	5'66	"	464	"							



に匹敵するものであり、又高温焼戻のソルバイト組織強靱鋼としては焼戻温度に従ひ 100kg 級 (C 0.20~0.30, Ni 3.0~4.0, Cr 1.0~1.5, Mo 0.30~0.60) 乃至は 125kg (C 0.22~0.27, Ni 4.0~4.5, Cr 1.3~1.8, Mo 0.40

~0.70, W 0.2~0.5) の Ni-Cr 強靱鋼に匹敵するものである事が判る。100kg 級強靱鋼は 3~4% Ni, 125kg,



第 21 表 強靱鋼の機械的性質の比較 (ブリネル硬度、シャルピー及焼戻後の冷却は 1'' のものを採用)

鋼 種	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	ブリネル 硬 度	シャルピー kgm/cm ²	熱 處 理
160kg 級 Ni-Cr 鋼 規 格 代 表 値	>160	174~178	>7	>25	460~532	>5	{ 830~900°C 空冷 100~200°C 油冷
強 靱 鋼 (1, 1')	173	180	15	44~48	470~490	6~8	{ 850°C 空冷 200°C 油冷
100kg 級 Ni-Cr 鋼 規 格 代 表 値	>85	>100	>17	>40	293~340	>8	{ 820~800°C 空冷 550~650°C 油冷
強 靱 鋼 (1, 1')	86~90	96~102	22~24	62~64	270~280	12~14	{ 850°C 空冷 650°C 油冷
125kg 級 Ni-Cr 鋼 規 格 代 表 値	>100	>125	>15	>40	364~418	>6	{ 830~900°C 空冷 480~580°C 油冷
強 靱 鋼 (1, 1')	104~108	126~130	19~21	58~60	370~380	8~10	{ 850°C 空冷 600°C 油冷
	123	129	18	52	388	6.4	

160kg 級強靱鋼は 4~5% Ni であるから之等に新鋼種を以て代用すれば 1~3% Ni を節約し得る事となる。第 26 圖は強靱鋼 1 の低温及高温焼戻の組織を示す。

b) Ni を全然使用せざる場合 (Si·Mo·Cr 鋼)

1) 概要 Si·Mn 鋼或は Si·Mn·Cr 鋼は高率の降伏点を有し且價格も比較的低廉である爲發條鋼として廣く用ひられて居る。本實驗に於ては Si·Mn·Cr 鋼の滲炭鋼

第 22 表 Si·Mn·Cr 鋼の組成範圍

番號	C	Si	Mn	Cr
1	< 0.15	1	1	1
2	"	"	"	2
3	"	"	"	3
4	0.25~0.35	"	"	1
5	"	"	"	2
6	"	"	"	3
7	0.5~0.6	"	1	1
8	"	"	"	2
9	"	"	"	3

及強靱鋼としての諸性質を検討すべく第 22 表の如き組成範圍の鋼種を熔製した。

2) 試料調製及變態測定 熔解は前節の場合と同様 10kg 誘導爐に於てマグネシアライニングにて行た。各鋼種に就て A, B の 2 チャージ宛熔解した。製品分析値は第 23 表の如し。上記鋼塊中 A の方はハンマーにて鍛伸し B の方はロールにて壓延し何れも 20mm 丸に仕上げ、冷却は藥中で徐冷した。製品は何れも 650°C (1~3), 750°C

第 23 表 Si·Mn·Cr 鋼の分析値

番號	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Cu
1 A	.15	.98	1.22	.07	1.03	.020	.018	.10
1 B	.11	.92	1.04	.07	1.08	.021	.013	.18
2 A	.14	.98	1.29	.08	1.99	.016	.012	.13
2 B	.12	1.08	1.13	.08	2.19	.021	.017	.12
3 A	.14	1.28	1.09	.20	3.08	.034	.018	.20
3 B	.12	.98	1.06	.08	2.88	.015	.014	.10
4 A	.28	1.15	.99	.08	1.01	.019	.023	.21
4 B	.30	1.15	1.09	.08	1.01	.022	.020	.23
5 A	.32	1.16	.88	.08	1.91	.015	.022	.22
5 B	.30	1.14	1.07	.08	1.89	.017	.021	.23
6 A	.36	1.00	1.08	.09	2.83	.019	.023	.23
6 B	.32	1.08	1.12	.08	2.88	.016	.022	.21
7 A	.57	1.28	1.15	.08	1.03	.021	.017	.15
7 B	.55	1.18	1.06	.07	1.05	.022	.020	.21
8 A	.57	1.12	1.15	.09	1.91	.027	.016	.16
8 B	.42	.90	1.12	.08	1.98	.017	.018	.08
9 A	.53	1.29	1.17	.09	2.80	.027	.012	.13
9 B	.53	1.13	1.12	.08	2.82	.007	.013	.18

第 24 表 焼鈍に依る硬度變化

番號	壓延の儘 (ブリネル)	焼鈍後硬度 (ブリネル)	焼鈍溫度
1 B	163~170	163~157	650°C × 15h
2 B	174~197	170~179	
3 B	163~170	163~170	
4 B	207~217	207~217	750°C × 10h
5 B	201~229	197~201	
6 B	214~255	201~207	
7 B	257~306	225~229	750°C × 10h
8 B	262~311	217~223	
9 B	311~444	235	

(4~9) の低温焼鈍を施した、焼鈍前後の硬度變化は第 24 表の如し。

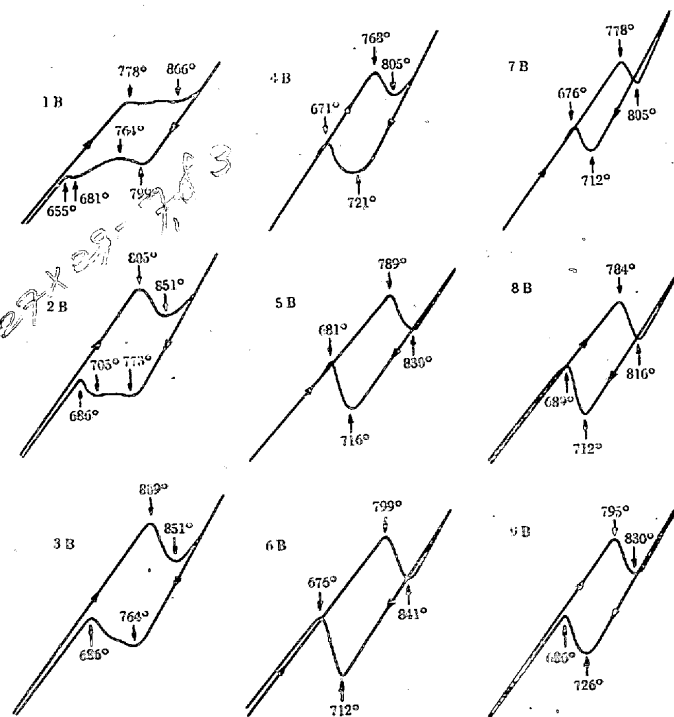
壓延の儘の硬度を見ると 1~6 迄は自硬性は著しくない。次に變態點測定の結果を一括すると第 25 表の如くである。之に依ると Ac₁, Ac₃ 點共に普通の Ni·Cr 鋼に比し

第 25 表 Si·Mn·Cr 鋼の變態點

鋼種	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₁	Ar ₃	Ac ₃ -Ar ₃
1 A	773	861	721?	784	77
1 B	773	871?	?	809	62
2 A	789	856	681	773	83
2 B	805	851	686	773	78
3 A	809	856	?	?	—
3 B	809	851	686	764	87
4 A	768	809	676	738	71
4 B	768	805	671	721	84
5 A	789	830	691	732	98
5 B	789	330	681	716	114
6 A	799	841	681	716	125
6 B	799	841	676	712	129
7 A	778	805	676	705	100
7 B	778	805	676	712	93
8 A	778	809	676	712	97
8 B	784	816	681	712	104
9 A	789	809	686	716	93
9 B	795	830	686	726	104

て著しく高い、之は主として珪素の影響と考へられる。又第 27 圖は試料 B に就ての全膨脹曲線を示す。之等の鋼

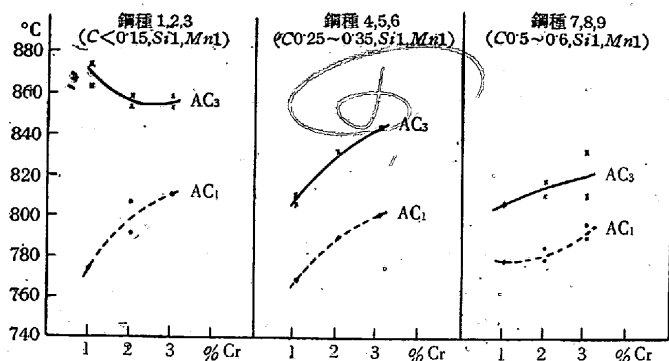
第 27 圖 Si·Mn·Cr 鋼の全膨脹曲線



種は爐冷では全然自硬性を示して居らぬ。第 28 圖は Ac₁ 及 Ac₃ 點に及ぼす Cr 量の影響を圖示せるもので Cr の増加により概して Ac₁, Ac₃ 點の上昇する事が判る。

3) 熱處理と機械的性質 上記試料より前實驗と同様

第28圖 Cr量と變態點の變化



なる抗張試験片及び衝撃試験片を製作し、夫々後記の熱処理を行って機械試験を行った、A, B 試料の中 A は熱処理温度不正確なりし爲 B のみ結果をあげる。

1) 滲炭鋼 滲炭鋼の熱処理は第26表の如く行た。

第26表 滲炭鋼の熱処理

	一次焼入	二次焼入	焼戻
(1)	900°C 油中	830°C 油中	100°C 油煮
(2)	" "	" "	200°C 油煮
(3)	" "	" "	100°C 油煮
(4)	" "	" "	200°C 油煮

其中機械的試験片に就ては試料不足せる爲(1), (2)の熱処理を行たのみである。一次, 二次の焼入温度が普通の炭素鋼, Ni・Cr 鋼の滲炭鋼に比し高いのは前述の如くこの鋼種の變態温度の高き爲である。

機械試験の結果は第27表及第29圖に示す如くである之に依ると抗張力は Cr 量と共に 100, 115, 120 kg/mm² と増加し、衝撃値は 8~10 kgm/cm² の範圍に沿て居る。衝撃値は稍低目であるが航空機以外の稍安全性の低下を許される機構部分には充分 3~5% Ni 程度の高 Ni・Cr 滲炭鋼の代用鋼として使用の可能性がある。

次に滲炭實驗を行ふ爲鋼種 1, 2, 3 より 18mm丸30mm長の試片を3個宛採り、之を前實驗と同様 900°C に 5, 10 25h 滲炭を行た。滲炭剤は前實驗と同じものを 20~22メツシの程度にして行た。第30圖は滲炭部の寫眞の一例で滲炭後爐中にて函中冷却せるものである。之に依ると滲炭部心殻部共に著しく結晶粒が粗大化して居る事が判る。第31圖は之に熱処理を施したもので之に依て見ると二次焼入のみ行たものは未だ結晶粒が完全に微粒化されて居ら

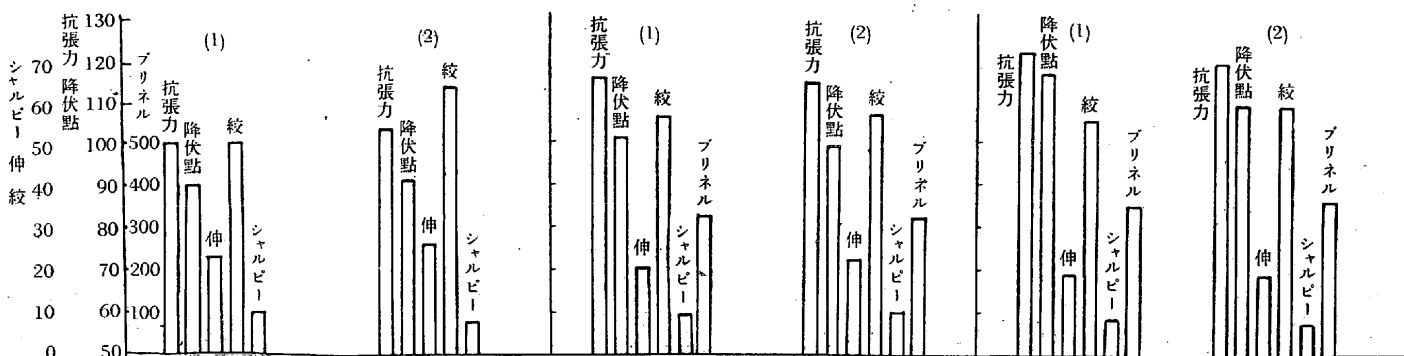
第27表 滲炭鋼の機械的性質

試片番號	降伏點 kg/mm ²	平均	抗張力 kg/mm ²	平均	伸 %	平均	絞 %	平均	断面狀態	切斷位置	シャルピ - kgm/cm ²	平均	硬度ブリネル	平均	試験片熱處理
1B-5	89.6	89.6	疵アリ 100.2	100.2	22.8	22.8	50.2	50.2	Cup	内	11.15	10.1	262	269.5	900°C × 10min O.Q.
6	85.6	90.9	96.3	103.5	26.0	17.2	62.9	50.2	"	"	8.95	7.9	277	277	830°C × 10min O.Q.
7	96.2		110.2		8.4		37.4		"	外	6.46		272		100 " "
8									"	"	9.30		282		200 " "
2B-5	96.1	101.2	110.8	115.1	22.4	20.4	57.6	55.7	"	中	10.53	9.6	326	328.5	" 100 " "
6	106.3		119.4		18.4		53.8		"	"	8.61		331		" 100 " "
7	97.0	98.75	111.1	114.1	22.4	22.6	57.2	56.5	"	"	12.46	9.6	311	321	" 200 " "
8	100.5		117.0		22.8		55.8		"	"	7.77		331		" 200 " "
3B-5	101.2	111.5	110.8	120.8	20.0	18.8	54.5	55.3	"	内	10.00	8.6	357	352	" 100 " "
6	121.1		130.8		17.6		56.0		"	"	7.26		347		" 100 " "
7	101.0	109.2	110.2	118.5	20.0	18.9	59.5	58.5	"	"	10.25	10.3	365	365	" 200 " "
8	117.2		126.8		17.8		57.5		"	"	ナシ		ナシ		" 200 " "

第29圖 滲炭鋼の機械的性質

(1) 900°C. O.Q. 800°C. O.Q. 100°C 焼戻
(2) " " " 200°C "

1 B							2 B							3 B						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
0.11	0.92	1.04	0.021	0.013	0.07	1.08	0.12	1.08	1.13	0.021	0.017	0.08	2.19	0.12	0.98	1.06	0.015	0.014	0.08	2.88



57 x 14 = 798

第30圖 滲炭層の組織 900°C 滲炭途中除令
2A-2 10h 滲炭

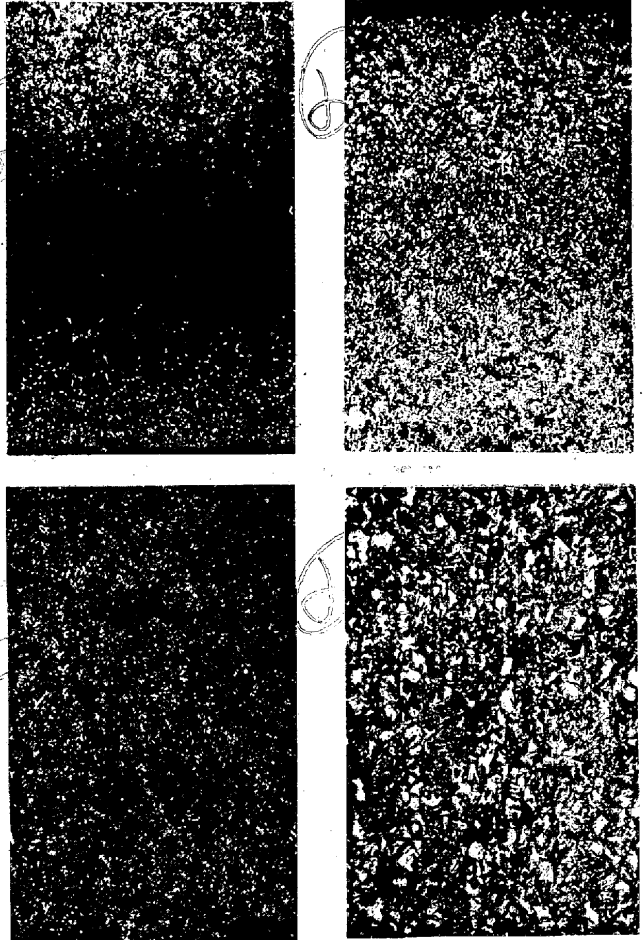


1% HNO₃ 腐蝕 ×100

20x61=146%

第31圖 熱處理後の滲炭部及心殻部組織

900°C. O.Q 830°C. O.Q 500°C. O.T 830°C. O.Q 200°C. O.T
2A-2. 10h 滲炭 2A-2' 10h 滲炭

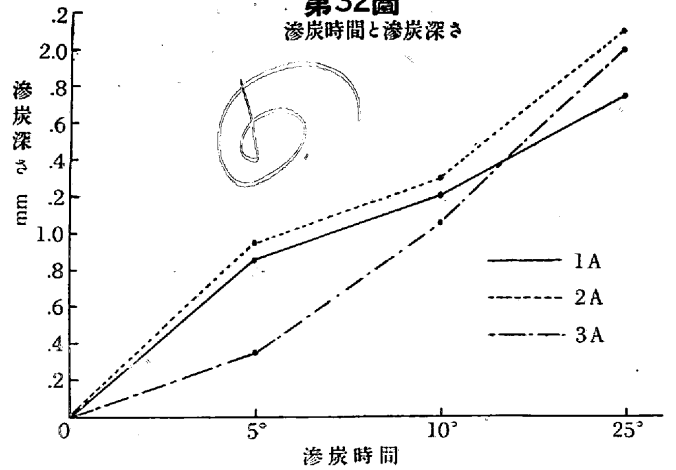


1% HNO₃ 腐蝕

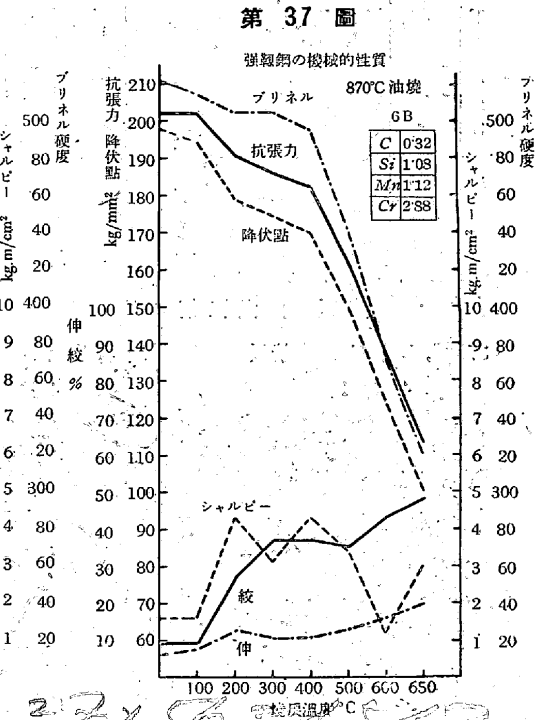
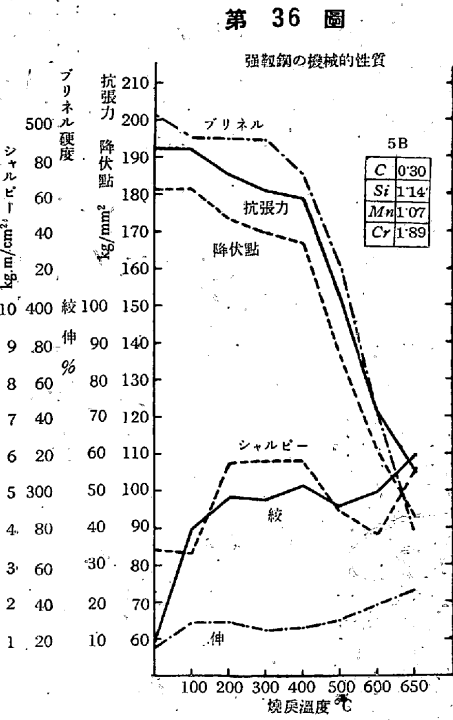
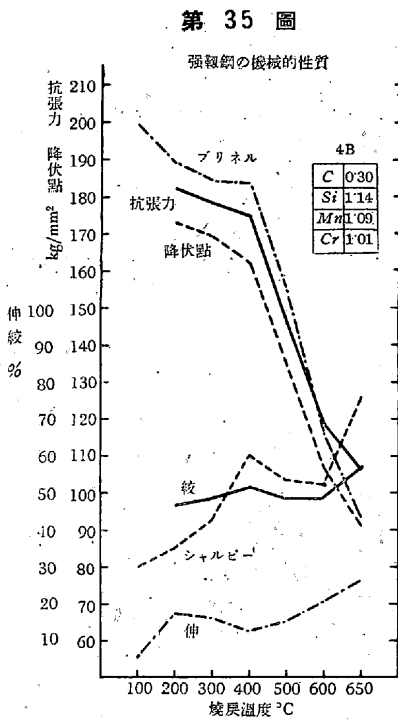
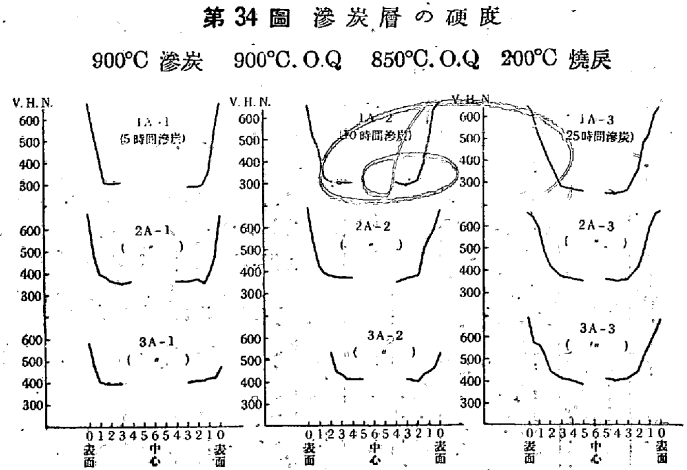
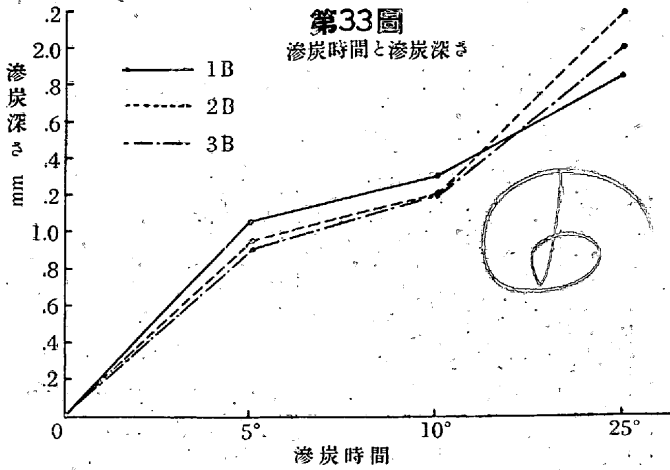
×約 60

第32圖

滲炭時間と滲炭深さ



6



第28表 強靱鋼の機械的性質

試片 番號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	断面 狀態	切斷 位置	シャルピー kgm/cm ²	硬 度 ブリネル	試験片熱處理
4 B-0	—	—	—	—	—	—	—	—	770°×10' OQ
1	—	—	4.0	—	Cup	外	2.98	499	100×1h 焼戻油冷
2	173.1	182.2	17.6	46.5	"	内	3.54	478	" 200×" "
3	169.2	179.9	16.0	48.5	"	"	4.28	467	" 300×30' "
4	162.8	174.5	12.8	51.5	"	"	5.96	—	" 400×" "
5	134.0	146.0	15.2	48.4	"	中	5.34	388	" 500×" "
6	107.8	118.1	20.4	—	Rd	内	5.19	321	" 600×" "
7	91.0	106.5	26.4	56.3	"	"	7.60	285	" 650×" "
5 B-0	181.0	192.0	7.6	9.1	Cup	外	3.39	503	870°×10' OQ
1	"	"	14.4	39.0	"	内	3.25	485	" 100×1h 焼戻油冷
2	178.0	184.9	"	48.0	"	"	5.66	"	" 200×" "
3	168.6	180.4	12.4	47.2	"	"	5.81	"	" 300×30' "
4	166.5	178.4	12.8	51.2	"	"	"	470	" 400×" "
5	136.6	152.0	15.0	45.4	"	中	4.43	420	" 500×" "
6	110.9	122.8	19.0	49.3	Rd	"	3.83	345	" 600×" "
7	93.1	105.2	22.4	59.8	"	内	5.60	278	" 650×" "
6 B-0	198.1	205.1	6.4	9.6	Cup	中	1.63	532	870°×10' OQ
1	194.0	202.3	8.0	9.1	"	内	1.63	514	" 100×1h 焼戻油冷
2	179.4	191.2	12.8	27.3	"	"	4.28	507	" 200×" "
3	173.9	185.8	10.4	37.1	"	"	3.11	"	" 300×30' "
4	170.1	182.6	11.2	37.3	"	中	4.28	495	" 400×" "
5	150.4	162.1	12.8	30.3	"	"	3.39	442	" 500×" "
6	123.5	136.8	16.0	43.1	Rd	"	1.24	373	" 600×" "
7	99.9	113.0	24.0	48.5	"	中	3.11	321	" 650×" "

第29表 強靱鋼の機械的性質

試片 番號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	断面 状態	切斷 位置	シャル ピー kg/cm ²	硬度 ブリ ネル	試験片熱處理	試片 番號	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	絞 %	断面 状態	切斷 位置	シャル ピー kg/cm ²	硬度 ブリ ネル	試験片熱處理
7B-1		Rより切斷す							870×10'OQ	6		Rより切斷す							870×10'OQ
2		疵あり					1) 0.63	662	" 100×1' 焼戻油冷	7		"				4) 1.62	542	" 400×30' 焼戻油冷	
3		Rより切斷す					2) 1.11	582	" 200×" "	8	159.8	171.6	5.6	29.2	Cup	内	5) 3.39	383	" 500×" "
4		"					3) 疵あり		" 300×30' "	9	"	"	12.0	21.7	"	中	"	"	"
5		"								10	130.0	139.2	"	37.6	Rd	"	6) 1.80	306	" 600×" "
6		"								11	128.0	139.9	12.6	30.3	"	"	"	"	" 600×" "
7		"					4) 0.88	573	" 400×" "	12	107.5	120.8	13.2	45.3	"	内	7) 1.38	"	" 650×" "
8		"								13	110.2	123.8	8.0	45.7	"	"	"	"	" 650×" "
9	170.2	192.1	8.0	20.8	Cup	内	5) "	489	" 500×" "	9B-1		Rより切斷す							870×10'OQ
10	131.2	142.0	12.4	30.6	"	"	6) 1.76	385	" 600×" "	2		"				1) 0.28	616	" 100×1' 焼戻油冷	
11	115.4	128.8	"	28.3	"	"				2'		"				"	"	"	"
12	110.9	150.4	15.2	37.3	Rd	中	7) 3.11	359	" 650×" "	3		"				2) 0.75	611	" 200×" "	
13	110.2	149.0	18.0	"	"	内				3'		"				"	"	"	"
8B-1		Rより切斷す							870×10'OQ	4		152.6	3.6	4.5	Cup	内	3) 0.63	"	" 300×30' "
1'		"					0) 0.40	602	" 100×1' 焼戻油冷	5		Rより切斷す				"	"	"	" 400×" "
2'		"					1) 0.88	587	" 200×" "	6		148.6	8.0	6.7	"	"	"	"	" 400×" "
3'		"								7		Rより切斷す				"	"	"	" 500×" "
3		"					2) 1.50	"	" 200×" "	8		"				"	"	"	" 500×" "
4		"					3) 2.03	578	" 300×30' "	9		"				"	"	"	" 600×" "
5		"								10	142.5	154.3	11.2	"	"	"	"	"	" 600×" "
										11		Rより切斷す				"	"	"	" 650×" "
										12	143.0	154.9	12.6	39.4	Rd	"	7) 2.43	373	" 650×" "
										13	121.8	133.9	13.2	38.8	"	"	"	"	"

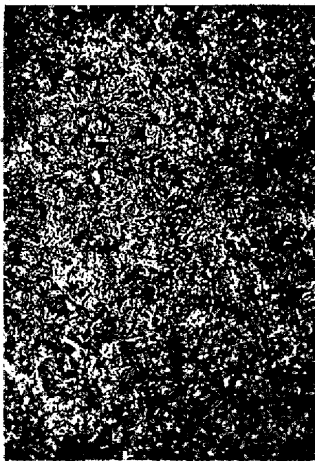
第38圖 強靱鋼の焼戻組織

870°C, OQ 100°C 焼戻

870°C, O.Q. 400°C 焼戻

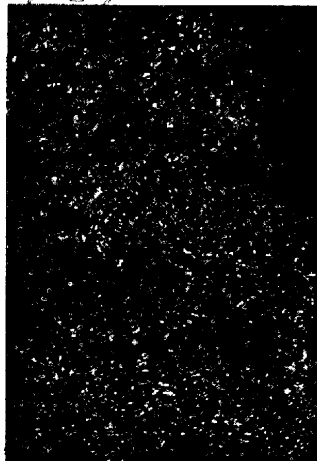
4 B-1

4 B-4



×約 230

1% 硝酸アルコール腐蝕



×約 230

ぬが1次及び2次焼入を施したものは完全に微粒化されて居る事が判る。尙之等の組織の寫眞を見ると非金屬介在物(シリケートスラッグ)の多い事が判る。之はSi及Mnを含有する鋼種として避け難い缺點であらう。第32, 33圖は滲炭時間と滲炭深さ(共折點以上)との關係を圖示せるもので10hにて約1.2mm, 25hで約2.0mmに達し滲炭性は極て大である。普通Siは滲炭性を減少せしめると云はれて居るがMn及びCrと共存する時は其の影響は除去されるものゝ如くである。第34圖は滲炭層の硬度をヴィッカース硬度計にて測定せるもので二, 三の例外はあ

るが大體V.H.N 600~700で高Ni・Cr鋼の油冷の場合と同等である。

ロ) 強靱鋼 強靱鋼(4~9)の熱處理は870°C油焼入100~650°C焼戻, 油冷を行た。其の機械試験の結果は第28, 29表及び第35, 36, 37圖に示す如くである。

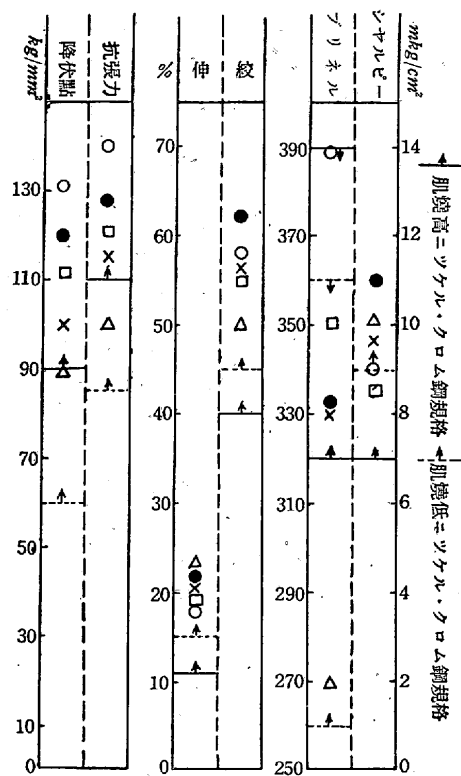
之に依て見るとC0.25~0.35%の鋼種4, 5, 6は強さは充分出て居るが, 衝撃値が600°C焼戻で約5mkJ/cm²以下であるから高温焼戻の状態で使用するのは稍不安がある。400°C以下の焼戻温度で使用すれば齒車用鋼としてNi・Cr鋼の代用となり得る可能性がある。或は更に炭素量を低くして0.15~0.25% C位のものを用ひ, 低温焼戻の強靱鋼として使用した方が良いかも知れぬ。更にC0.5~0.6%の鋼種5, 6, 7に於ては脆性甚しく抗張力試験片の大部分は殆ど伸びずに試験片の平行部の末端より破斷する状態で, 強靱鋼としては遺憾ながら使用に堪へないのである。第38圖は之等強靱鋼の顯微鏡組織の一例を示すもので一見粗大な組織である事が判る。滲炭鋼及強靱鋼に於けるこの結晶成長の傾向は少量のMoを添加すればある程度防止し得るものと考へられる。

c) 新鋼種と在來の鋼種の機械的性質比較 最後に稍重複する嫌ひがあるが本章に於て述べた(a)(b)二種類の新鋼種の機械的性質と在來のNi・Cr鋼の機械的性質の規格に對する關係を總括的に第39, 40, 41圖に圖示した。第39圖は滲炭鋼の場合第40圖は強靱鋼の低温焼戻の場合, 第41圖は同じく強靱鋼の高温焼戻の場合である。

32 X 56 = 17,92

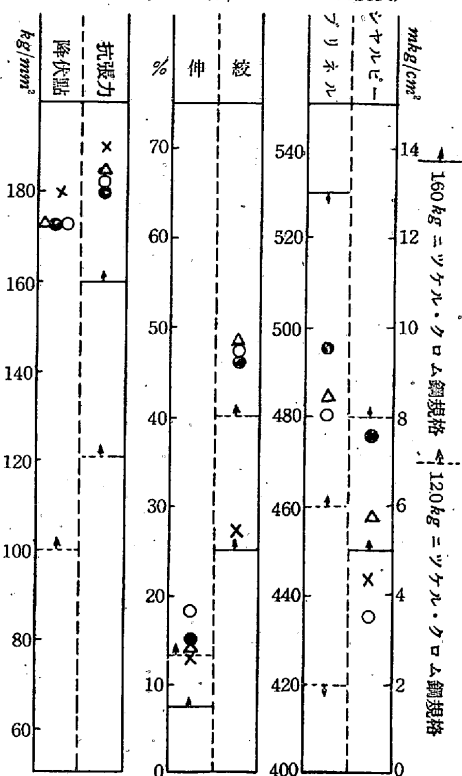
第 39 圖

代用渗炭鋼の機械的性質



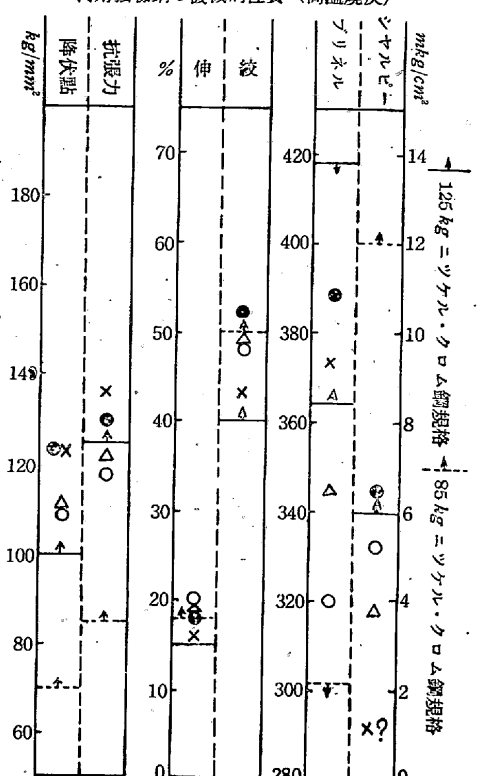
第 40 圖

代用強靱鋼の機械的性質 (低温焼戻)



第 41 圖

代用強靱鋼の機械的性質 (高温焼戻)



第 39 圖
說明

番號	記號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	熱處理
肌焼高ニッケルクロム鋼		0.10-0.15	< 0.35	< 0.60	4.0-5.0	0.7-1.0	< 0.50	830~880 油冷 750~820 油冷
肌焼低ニッケルクロム鋼		0.10-0.15	< 0.35	< 0.60	2.8-3.8	< 0.5		850~900 油冷 730~800 水冷
1	●	0.10-0.15 0.12	< 0.35 0.27	1.0-1.5 1.33	1.5-2.5 2.17	2.5-3.5 3.01	< 0.50 0.39	850° 空冷 18° 160° 油煮
2	◎	0.10-0.18 0.14	< 0.35 0.27	< 0.60 0.21	2.5-3.5 3.17	2.5-3.5 2.94	0.50-0.70 0.61	同 上
3	△	< 0.15 0.11	1.0 0.92	1.0 1.04		1.0 1.08		900° 油冷 830° 100° 油煮
4	×	< 0.15 0.12	1.0 1.08	1.0 1.13		2.0 2.19		同 上
5	□	< 0.15 0.12	1.0 0.98	1.0 1.06		3.0 2.88		同 上

IV. 結 論

1) Ni・Cr 鋼の代用鋼として現用鋼種中から代用し得ると考へられる Mn 鋼, Cr 半硬鋼 75kg Cr・Mo 鋼 80kg Cr・Mo 鋼の 4 鋼種及び比較の爲に低 Ni・Cr 鋼を選び之等の鋼種の多數製品に就いて, 其の化學成分及び機械的諸性質の統計的研究を行ひ Mn 鋼以外の鋼種は充分規格範囲に入り製造上, 使用上何等不安なきものなる事を確めた. 又低 Ni・Cr 鋼の代用鋼としては其の諸性質が最も近似な鋼種は 75kg Cr・Mo 鋼で其の他の鋼種は寧ろ更に強力な鋼種である.

2) 上記代用鋼の 4 種中 Mn 鋼 75kg Cr・Mo 鋼及び之が比較の爲に低 Ni・Cr 鋼に就て現用規格硬度範囲外の硬度で使用せんとする場合の参考數値を得る爲に諸熱處理條件下に於ける機械的諸性質を調べた.

第 40 圖
說明

番號	記號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	熱處理
160kg ニッケルクロム鋼		0.25-0.35	< 0.35	< 0.60	4.0-5.0	1.3-1.8	0.30-0.60		830~900 大氣中 100~200 油煮
120kg ニッケルクロム鋼		0.15-0.25	< 0.35	< 0.60	3.8-4.5	1.3-1.8	0.10-0.30	0.7-1.3	800~870 大氣中 100~200 急煮
1	●	0.28-0.35 0.29	< 0.35 0.23	0.8-1.5 1.24	1.5-2.0 1.87	2.5-3.5 3.09	< 0.65 0.36		870° 油冷 200° 油冷
2	◎	0.25-0.35 0.30	1.0 1.15	1.0 1.19		1.0 1.01			同 上
3	△	0.25-0.35 0.30	1.0 1.14	1.0 1.07		2.0 1.89			同 上
4	×	0.25-0.35 0.32	1.0 1.08	1.0 1.12		3.0 2.88			同 上

第 41 圖
說明

番號	記號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	W	熱處理
120kg ニッケルクロム鋼		0.22-0.27	< 0.35	< 0.60	4.0-4.5	1.3-1.8	0.40-0.70	0.2-0.5	830~900 大氣中 550~650 油冷
85kg ニッケルクロム鋼		0.25-0.32	< 0.35	< 0.60	2.5-3.5	0.6-1.0	< 0.5		820~880 油冷 550~620 急冷
1	●	0.28-0.35 0.29	< 0.35 0.23	0.8-1.5 1.24	1.5-2.0 1.87	2.5-3.5 3.09	< 0.65 0.36		870° 油冷 600° 急冷
2	○	0.25-0.35 0.30	1.0 1.15	1.0 1.09		1.0 1.01			同 上
3	△	0.25-0.35 0.30	1.0 1.14	1.0 1.07		2.0 1.89			同 上
4	×	0.25-0.35 0.32	1.0 1.08	1.0 1.12		3.0 2.88			同 上

Mn 鋼は低温度焼戻の場合は伸がなく、又衝撃値も低く低 *Ni*・*Cr* 鋼の場合と其の諸性質稍劣るが *Cr*・*Mo* 鋼は前項と同様低 *Ni*・*Cr* 鋼とその諸性質が極めて類似して居り且つ焼戻脆性を全然示さない。

3) *Ni* 3~5% を含有する高 *Ni*・*Cr* 滲炭鋼及び強靱鋼の代用鋼として *Ni* の使用量を節約し *Cr* 及 *Mn* 量を増加せる次の如き成分を有する *Cr*・*Mn*・*Ni*・*Mo* 鋼及び *Cr*・*Ni*・*Mo* 鋼に就て其の諸性質を検討した。

滲炭鋼 1, *C* 0.10~0.15, *Mn* 1.0~1.5, *Ni* 1.5~2.5, *Cr* 2.5~3.5, *Mo* <0.50.

滲炭鋼 2, *C* 0.10~0.18, *Ni* 2.5~3.5, *Cr* 2.5~3.5, *Mo* 0.5~0.70.

強靱鋼 1, *C* 0.28~0.35, *Mn* 0.8~1.5, *Ni* 1.5~2.0, *Cr* 2.5~3.5, *Mo* <0.65.

其の結果滲炭鋼については鋼種 1 は現用の最強力の高 *Ni*・*Cr* 滲炭鋼 (*Ni* 4.0~5.0, *Cr* 0.7~1.0, *Mo* <0.50) に其の機械的性質が匹敵するものであり鋼種 2 は之より更に強力なものである。且つ滲炭性、表面硬度等も良好である。今鋼種 1 を 4~5% *Ni* の高 *Ni*・*Cr* 鋼の代用として用ひれば 2~3% *Ni* を節約し得る。

次に強靱鋼 1 は低温焼戻としては 160kg 級の高 *Ni*・*Cr* 鋼に匹敵するものであり又高温焼戻鋼としては 100~125kg 級の高 *Ni*・*Cr* 鋼に匹敵するもので之等の鋼種の代用鋼として使用すれば 1~3% *Ni* を節約し得る。唯 0.3~0.4% 程度の *Mo* 添加では焼戻脆性を完全に防止出来ず。焼戻後は油中冷却を要する。

4) 性質の稍低下する事を覺悟せる場合として *Ni* を全

然使用せざる次の如き組成の *Si*・*Mn*・*Cr* 鋼に就て其の諸性質を検討した。

滲炭鋼 *C* <0.15, *Si* 1.0, *Mn* 1.0, *Cr* 1, 2, 3.

強靱鋼 *C* 0.25~0.35, *Si* 1.0, *Mn* 1.0, *Cr* 1, 2, 3.

強靱鋼 *C* 0.5~0.6, *Si* 1.0, *Mn* 1.0, *Cr* 1, 2, 3.

滲炭鋼の衝撃値は $8 \sim 10 \text{ kgm/cm}^2$ で稍低目であるが自動車用鋼の如く稍安全性の低下を許される機構部には充分 3~5% 程度の高 *Ni*・*Cr* 滲炭鋼の代用鋼として使用の可能性がある。滲炭組織も一次、二次焼入を行へば良好である。

強靱鋼としては *C* 0.25~0.35% の鋼種は抗張力は充分であるが衝撃値が不足である爲高温焼戻鋼としては稍不安であるが 400°C 以下の焼戻温度で使用すれば齒車用鋼等として *Ni*・*Cr* 鋼の代用鋼になり得る可能性がある。*C* 0.5~0.6% の鋼種は衝撃値更に低く、強靱鋼としては遺憾乍ら使用に堪へない。一般に之等滲炭鋼及び強靱鋼は結晶粒の成長し易い事、非金屬介在物の多い事が缺點である。結晶粒の成長は少量の *Mo* を添加せばある程度防止し得ると考へられる。

5) 是等の代用鋼の新鋼種の實用化に當つては大型鋼塊に就て更に詳細な検討を要するものであるが、前記の現用代用鋼に於ても自動車部品の如く製品の肉厚の餘り大でないものは強ひて *Ni*・*Cr* 鋼を用ひる必要なく是等の代用鋼を充分利用すべきである。思ふに設計者、使用者と材料製造者とが理解ある協力の下に使用鋼種の選擇に慎重を期するならば現在活躍中の諸機械は其の性能を微少だも犠牲とせずして *Ni* の使用量を半減する事は左程の難事ではあるまい。