

# 航空機構造用珪素・マンガン鋼の基礎的研究

(日本鐵鋼協會第 16 回講演大會講演 昭和 11 年 10 月)

小 島 義 正\*

## I. 緒 言

一般に *Si*・*Mn* 鋼はバネ鋼として航空機 自動車並に其他車輛構造用に廣く使用されてゐる 其一例を挙げると第 1 表に於て 大型乗合自動車用バネ鋼としては A-D に

第 1 表

記 號	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
A	0.60	2.09	0.81	0.009	0.001	0.11	0.17	—	—
B	0.62	2.60	0.97	0.019	0.006	0.08	0.07	—	—
C	0.38	0.44	1.48	0.028	0.034	0.10	0.11	—	—
D	0.40	0.19	1.47	0.021	0.027	0.20	0.08	—	—
S.A.E. No. 9,250	0.45-0.55	1.80-2.20	0.60-0.90	<0.05	<0.045	—	—	—	—
S.A.E. No. 9,260	0.55-0.65	1.80-2.20	0.60-0.90	<0.05	<0.045	—	—	—	—
E	0.50	2	1	—	—	—	—	1.30	0.3
D.T.D. 115	0.46-0.56	1.6-2.1	0.8-1.3	<0.04	<0.04	<0.4	<0.10	—	—

示す組成の鋼が使用され SAE には No. 9,250 及 No. 9,260 の 2 種の *Si*・*Mn* 鋼が規定されてゐる 尙航空機構造用としては Strunss, Somer<sup>1)</sup> (Fairchild Aircraft Co.) によると Landing Gear Spring として第 1 表 E の組成の鋼が用ひられ 航空機用並に自動車用バネ鋼として歐洲に於ては *Si*・*Mn* 鋼系統が多く使用され米國に於ては *Cr*・*V* 鋼が使用されてゐる 更に DTD に於ては第 1 表 DTD 115 に示す組成の *Si*・*Mn* 鋼が規定せられてゐる

斯くの如く *Si*・*Mn* 鋼はバネ鋼として廣い用途がある 然して之等の組成を通觀するに 0.5% C, 2% Si, 1% Mn 鋼が一つの基本的組成をなすことを識る

*Si*・*Mn* 鋼に關する從來の研究を見るに C, Si 及 Mn 量の變化による諸性質の變化を求めたものは多數見受けられるが 他元素の影響を系統的に明にせるものは少い 由て著者は上述の基本的組成の鋼に 6% 以下の Cr, Ni, Mo, V, Co 及 W を各單獨に添加せる第 2 表に示す如き組成の試料に就き之等の關係を明にする目的を以て本研究を行

た 試料は 50kg. 高周波誘導電氣爐にて 50kg 丸鋼塊を調製し 高温鍛造して板狀となし 之より各種試験片を採取した

第 2 表

記號	化 學 組 成 (%)											
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	V	Co	W
1	0.50	2.08	1.05	0.032	0.007	0.12	—	—	—	—	—	—
2	0.55	2.09	1.46	0.077	0.008	0.09	—	—	—	—	—	—
3	0.53	0.55	1.23	0.050	0.006	—	—	—	—	—	—	—
Cr $\frac{1}{2}$	0.43	2.10	0.64	0.014	0.014	0.12	0.69	—	—	—	—	—
Cr 1	0.45	2.20	1.09	0.022	0.025	0.12	1.07	—	—	—	—	—
Cr 2	0.49	2.34	1.18	0.022	0.023	0.11	2.26	—	—	—	—	—
Cr 3	0.53	2.43	1.09	0.019	0.014	0.11	3.19	—	—	—	—	—
Cr 5	0.54	2.32	1.15	0.024	0.019	0.11	5.15	—	—	—	—	—
Ni $\frac{1}{2}$	0.53	2.29	1.32	0.023	0.012	0.10	—	0.54	—	—	—	—
Ni 1	0.55	2.44	1.23	0.028	0.021	0.10	—	1.03	—	—	—	—
Ni 2	0.48	2.25	1.25	0.021	0.012	0.09	—	2.21	—	—	—	—
Ni 3	0.50	1.87	1.20	0.027	0.011	0.10	—	3.29	—	—	—	—
Ni 5	0.51	2.11	1.18	0.021	0.009	0.09	—	4.99	—	—	—	—
Mo $\frac{1}{2}$	0.45	2.12	1.03	0.022	0.020	0.11	—	—	0.25	—	—	—
Mo $\frac{1}{2}$	0.54	2.24	1.33	0.025	0.022	0.10	—	—	0.51	—	—	—
Mo 1	0.50	2.18	1.29	0.023	0.016	0.10	—	—	1.03	—	—	—
Mo 2	0.51	2.20	1.31	0.028	0.016	0.09	—	—	2.08	—	—	—
Mo 3	0.51	2.51	1.27	0.022	0.018	0.10	—	—	2.89	—	—	—
V $\frac{1}{2}$ a	0.48	2.08	1.20	0.021	0.023	0.17	—	—	—	0.18	—	—
V $\frac{1}{2}$ b	0.46	2.30	1.21	0.023	0.022	0.13	—	—	—	0.23	—	—
V $\frac{1}{2}$	0.46	2.20	1.20	0.023	0.027	0.13	—	—	—	0.43	—	—
V 1	0.52	2.63	0.98	0.030	0.027	0.11	—	—	—	1.14	—	—
Co $\frac{1}{2}$	0.50	2.30	1.28	0.026	0.019	0.10	—	—	—	—	0.49	—
Co 1	0.55	2.21	1.33	0.025	0.015	0.10	—	—	—	—	0.88	—
Co 3	0.52	2.36	1.13	0.028	0.014	0.10	—	—	—	—	2.95	—
Co 5	0.53	2.22	1.30	0.028	0.015	0.10	—	—	—	—	4.63	—
W $\frac{1}{2}$	0.56	2.36	1.30	0.028	0.021	0.10	—	—	—	—	—	0.21
W 2	0.51	2.10	1.24	0.023	0.020	0.10	—	—	—	—	—	1.93
W 3	0.49	2.45	1.20	0.022	0.019	0.09	—	—	—	—	—	2.95
W 4	0.46	2.25	1.13	0.024	0.014	0.08	—	—	—	—	—	4.61
W 6	0.55	2.24	1.29	0.024	0.023	0.09	—	—	—	—	—	5.27

## II. 變態に及ぼす諸元素の影響

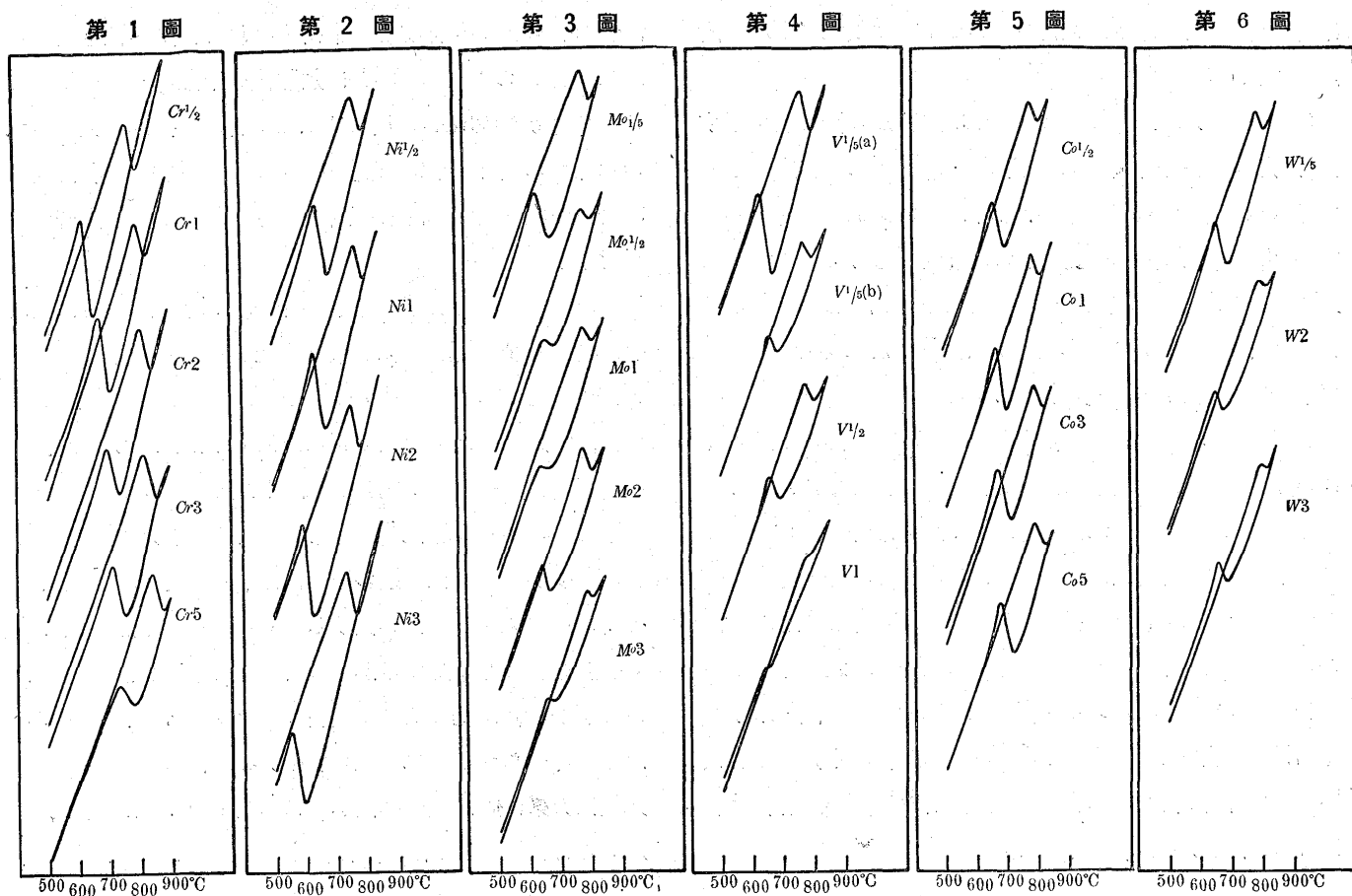
高温鍛造せる板より徑 4mm × 長さ 80mm の試片を採取し 眞空中 900°C に加熱後爐中冷却し標準化して後 本多式熱膨脹計によつて眞空中に於て變態點を測定した 從て酸化 脱炭等の現象は何等認められなかつた

之等の結果は第 3 表及第 1~6 圖に示す 圖示のものは爐中冷却せる場合の曲線である 表中空中冷却とあるは爐を引抜いて靜氣中に於て眞空に保持せる石英管中にて冷却せることを意味する

(1) クロムの影響 第 3 表及第 1 圖によつて明なる

\* 住友金屬工業株式會社鋼管製造所

1) F. T. Somer & J. Strunss: Symposium on Aircraft Materials A. S. T. M. (1930) 159



第 3 表

試験材 記 号	爐中冷却				空中冷却		附 記
	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	Ar <sub>3</sub>	Ar <sub>1</sub>	
1	*778	813	710	647	615	515	*本表の数字は以下総て °C にて現はさる
Cr 1/2	775	807	658	625	—	—	空冷にて変態点不明瞭
Cr 1	799	829	710	674	600	530	
Cr 2	811	845	739	700	610	535	
Cr 3	817	861	758	715	660	580	
Cr 5	837	877	780	735	*650	*600	*不明瞭
Ni 1/2	774	804	687	647	620	550	
Ni 1	777	803	776	637	605	530	
Ni 2	747	775	632	590	*550	Ar'	*極めて不明瞭 空冷にて 113°C にて Ar' 現はる
Ni 3	737	767	598	555	—	113	Ar'' 現はる 爐冷にても Ar' 現はる 尙加熱時に 466°494°C に異状変態が見受けられる
Ni 5	705	736	—	113	—	87	
Mo 1/5	781	813	685	642	Ar'' 600	Ar'' 127	Ar' は極めて不明瞭
Mo 1/2	782	810	693	665	—	116	
Mo 1	783	812	685	648	—	40	
Mo 2	781	812	673	646	—	89	
Mo 3	788	807	680	658	*600	—	*極めて不明瞭
V 1/5(a)	768	805	673	630	—	135	加熱 爐冷 空冷共變態点極めて不明瞭直線に近し
V 1/5(b)	770	799	690	660	622	570	
V 1/2	776	804	692	660	610	560	
V 1	776	790	658	640	—	—	
Co 1/2	785	817	706	664	632	565	
Co 1	785	813	707	667	650	570	
Co 3	791	819	719	674	645	570	
Co 5	791	823	724	680	660	585	
W 1/5	788	813	698	658	613	545	
W 3	802	822	684	659	580	540	*稍不明瞭
W 3	805	825	690	664	610	560	*稍不明瞭
W 4	802	822	683	662	610	560	*稍不明瞭
W 6	800	810	683	656	600	560	*稍不明瞭

如く Cr の添加によって A<sub>1</sub>, A<sub>3</sub> は共に上昇する 然して初めは稍急に Cr 量が増加するに従て徐々に上昇する 第 2 表を見ると之等試料の C 量は Cr の増加と共に稍増加してゐるが 上述の變態温度の上昇は之等に起因するとは考へられぬ Hanson<sup>2)</sup> 及佐藤知雄博士<sup>3)</sup> によると 2% Si 鋼に於て 0.5% C 前後にては炭素の増加によって A<sub>1</sub> は極く僅小の上昇を示すに過ぎず A<sub>3</sub> は稍急な降下を示す 又村上博士<sup>4)</sup> によると Cr 鋼に於て Cr の増加によって A<sub>3</sub> 及 A<sub>1-0</sub> は急に上昇する 即他組成の變化は僅小にして Cr 量の著しく變化してゐる本試料の變態温度の上昇は主として Cr の影響と考へられる 尙冷却に際しては空中冷却 爐中冷却何れに於ても Cr 量と共に變態温度は上昇し 變態による容積の變化減少する 然して空中冷却による變態温度の降下の割合は Cr 量の増加によって著しい影響は見受けられない

(2) ニッケルの影響 第 3 表及第 2 圖に示す如く

Ni 量の増加に従て變態温度は漸次降下する 爐中冷却に際しては Ni 5 に於て Ar'' が 130°C 附近に出現し 空中

2) D. Hanson : Jour. Iron & Steel Inst., 116 (1927) 129

3) 佐藤:— 金屬の研究 4 (1930) 202

4) 村上:— 特殊鋼の組織及性質 29

冷却に際しては更に  $Ni$  量の低い  $Ni3$  に於て  $115^{\circ}C$  附近に現はれる

(3) モリブデンの影響 第3表及第3圖に於て示す如く加熱及爐中冷却時の  $A_1, A_3$  は  $Mo$  の添加量によつて殆ど影響せられない。空中冷却に於ては既に  $Mo 1/5$  にて  $Ar', Ar''$  が出現し變態點の降下を招致する  $Mo3$  以上に於ては變態が廣範圍に亙て起る結果不明瞭である。尙第3圖に於て見受けられる如く變態時の容積變化は  $Mo$  量の増加すると共に減少する

(4) バナヂウムの影響 第3表及第4圖に示す如く  $V$  の添加量によつて變態溫度は著しい變化を來さないが容積變化は著しく小となり  $V1$  の空中冷却に際しては殆ど直線となり變態點は認められざるに至る

(5) コバルトの影響 第3表及第5圖に示す如く  $Co$  量の増加に從て  $A_1, A_3$  變態溫度は少しく上昇する

(6) タングステンの影響 第3表及第6圖に示す如く  $W$  の添加によつて  $A_1, A_3$  變態點は著しく影響されない然し空中冷却に於ける變態點は稍明瞭を缺く容積變化は  $W$  の増加するに從て小となる

以上の如く  $Si-Mn$  鋼の變態點に及ぼす上記六元素の影響は(1) 變態點を上昇せしめるもの(2) 變態點を降下せしむるもの並に(3) 變態點を變化せしめぬもの3種に大別出来る。即  $Cr$  及  $Co$  は(1),  $Ni$  は(2) に屬し  $Mo$  も(2) の傾向を有する。然して  $W$  は(3) に屬する。從て適當なる焼入溫度も之等の元素の添加によつて影響を受ける。

### III. 焼入溫度並に硬度に及ぼす諸元素の影響

$Si-Mn$  鋼の變態點は添加諸元素によつて影響される。從て焼入溫度も之に伴て變化する。然して此溫度は焼入目

的物の質量にも關係する。本研究に於ては試料は鍛造せる  $20mm$  厚さの板を  $900^{\circ}C$  に加熱後爐中冷却して標準化せるものより幅  $25mm \times$  長さ  $35mm \times$  厚さ  $15mm$  大さのものを採取し普通實驗室用管狀電氣爐にて加熱し各溫度に30分保持して後油中焼入を行た。第7~12圖に之等の結果を示す

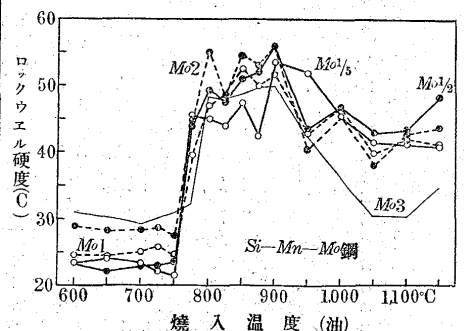
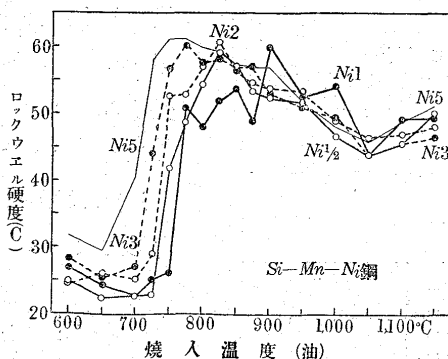
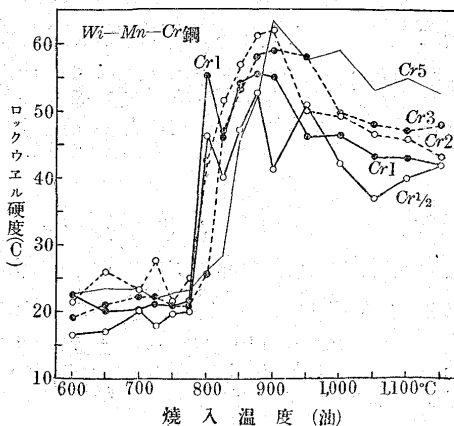
(1) クロムの影響 第7圖に示す如く一般に焼入硬度は  $Cr$  量の増加するに從て大となる。  $Cr$  量の少いときは焼入溫度  $775^{\circ} \sim 800^{\circ}C$  に於て硬度は急激に増加し  $850^{\circ}C$  附近にて最大となり更に焼入溫度が上昇するに從て焼入硬度は減少し  $Cr 1/2$  に於ては  $1,150^{\circ}C$  にて極少値を示し次で更に増加する。焼入溫度が上昇するに從て硬度の減少することは後述の顯微鏡組織にて識られる如く残留オーステナイトに起因する。更に焼入溫度が上昇すると硬度も少しく増加するがこれは高溫度より急冷するため生ずる熱應力によつて残留オーステナイトが減少するためと考へられる。  $Cr$  量が増加するに從て焼入硬度の最大値は次第に焼入溫度の高い方に移行し  $Cr5$  に於ては焼入溫度  $825^{\circ}C$  にては硬度は低く  $850^{\circ}C$  に至て急激に増加し  $900^{\circ}C$  にて最大値に達する。これは前節にて述べた如く  $Cr$  の添加によつて變態溫度が上昇するためである。然して  $Cr$  量が多くなるに從て最大硬度を示す焼入溫度と變態溫度との開きは小となる。これは  $Cr$  量が増加すると變態の過冷がより容易になるに由る

(2) ニッケルの影響 第8圖に示す如く一般に焼入によつて得らるる最大硬度は添加  $Ni$  の量によつて大差はない。然し乍ら前述  $Cr$  の場合とは反對に最大硬度を得る焼入溫度は  $Ni 1/2$  は  $825^{\circ}C$  であるが  $Ni$  量の増加するに從て降下し  $Ni5$  に於ては  $775^{\circ}C$  となる。然して  $Ni$  量の小なるときは  $750^{\circ} \sim 800^{\circ}C$  焼入にて硬度は急激に増

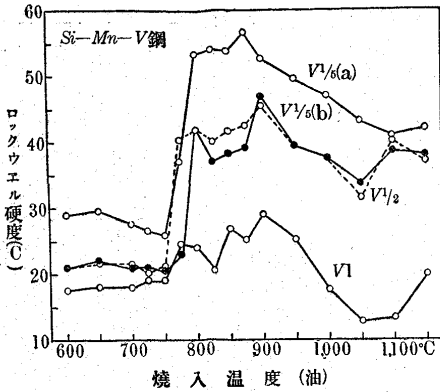
第 7 圖

第 8 圖

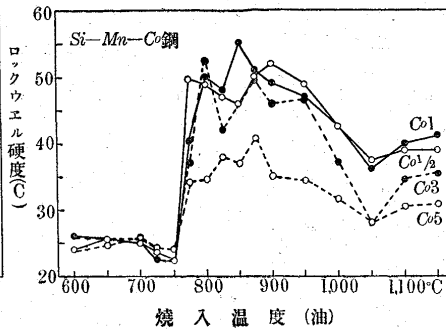
第 9 圖



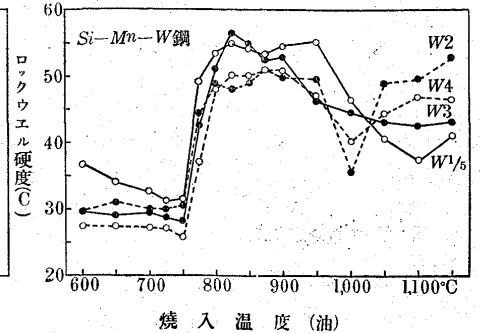
第 10 圖



第 11 圖



第 12 圖



大するが  $Ni$  量が増すと此點は  $650^{\circ}\sim 700^{\circ}\text{C}$  に降下する。これは前述の如く  $Ni$  の添加によって變態溫度が降下するためである。焼入溫度が或點を越えると焼入硬度が反て減少するのは前述  $Cr$  の場合と同様残留オーステナイトに起因する。尙最大硬度を得る焼入溫度と變態溫度との開きが前述  $Cr$  の場合に比し小なるは  $Ni$  添加の方が過冷され易きためである。

(3) モリブデンの影響 第9圖に示す如く  $Mo$  を添加せるものは先の  $Ni$  及  $Cr$  に比し一般に焼入硬度小である。然して最大硬度を得る焼入溫度は  $900^{\circ}\text{C}$  にして  $Mo$  量によって著しい變化はなく、何れも  $750^{\circ}\sim 775^{\circ}\text{C}$  焼入にて硬度は急激に變化する。之等は前節に述べし如く  $Mo$  量によって變態溫度が變化せぬためである。最大硬度を得る焼入溫度と變態溫度との開きは前述の  $Cr$  及  $Ni$  の場合より遙に大であることは第3表及第9圖を参照することによって識り得る。尙前述のものと同様、焼入溫度が或點以上になると残留オーステナイトを生ずるために硬度は小となる。

(4) バナヂウムの影響 第10圖に示す如く一般に  $V$  の添加によって焼入硬度は低下する。これは後述の顯微鏡組織にて識らるる如く  $V$  炭化物が生じ、焼入に際し炭素量が減少したと同じ作用をなし、焼入効果を減少する結果、硬度が比較的低下すると考へられる。 $V1$  に於ては残留オーステナイトの量が大部分を占むるに至るため、焼入に依りて硬度は増大せぬ。

(5) コバルトの影響 第11圖に示す如く、焼入硬度は前述  $Cr$  及  $Ni$  の場合に比して稍小である。 $Co3$  迄は焼入硬度の大きさには大差ないが、 $Co5$  になると著しく減少する。何れも  $750\sim 775^{\circ}\text{C}$  焼入にて硬度は急に増加する。 $Co$  量によって變態溫度は影響されない故、最大硬度を

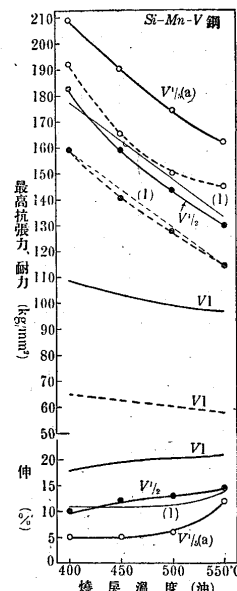
得る焼入溫度は何れも等しく  $850\sim 900^{\circ}\text{C}$  にある。焼入溫度が  $900^{\circ}\text{C}$  以上になると硬度が減少するのは前述の場合と同様、残留オーステナイトに起因する。

(6) タングステンの影響 第12圖に示す如く一般に焼入硬度は前述の  $Cr$  及  $Ni$  の場合と略等しい値を有する。然して  $W$  量による焼入硬度の變化は著しからず、最大硬度を示す焼入溫度及硬度の急増する焼入溫度範圍も略一定にして前者は  $850^{\circ}\text{C}$  前後、後者は  $750^{\circ}\sim 775^{\circ}\text{C}$  である。 $950^{\circ}\text{C}$  より焼入溫度が上昇すると焼入硬度の減少するのは前述の如く、残留オーステナイトに起因する。

### VI. 機械的性質に及ぼす諸元素の影響

前述の如き組成の鍛造鋼片より抗張試験片(徑  $10\text{mm}$ , 標點距離  $35\text{mm}$ )、硬度試験片( $25\text{mm}\times 35\text{mm}\times 15\text{mm}$ )、アイゾット衝撃試験片(普通寸法)並にスタントン繰返打撃試験片(普通寸法)を採取し、 $830^{\circ}, 850^{\circ}, 880^{\circ}$  及  $900^{\circ}\text{C}$

第 16 圖

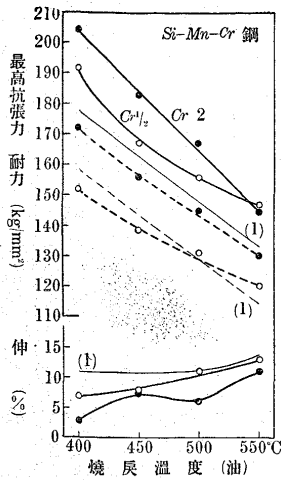


に各 30 分保持(油中に焼入し、更に  $400\sim 700^{\circ}\text{C}$  に 60 分再加熱し、焼戻(油及空氣)を施行し、各試験に供した。加熱には普通實驗室用管狀電氣爐を使用せり。

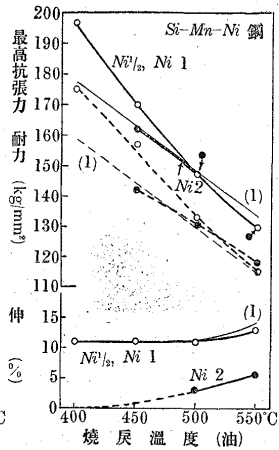
之等の結果の一部を第4~9表及第13~18圖(圖中破線は耐力を示す)に示す。

(1) クロムの影響 前述の如く  $Cr$  量の増加するに従て、最大硬度を示す焼入溫度は  $850^{\circ}\text{C}$  より  $900^{\circ}\text{C}$  に移行するが、此處では比較に便なるため、第4

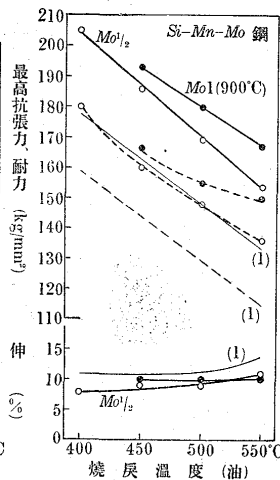
第 13 圖



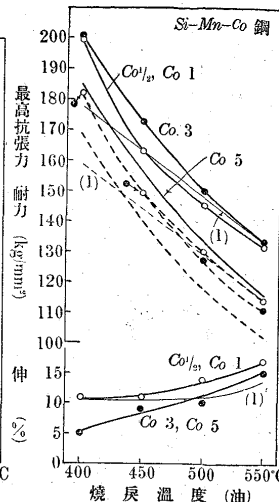
第 14 圖



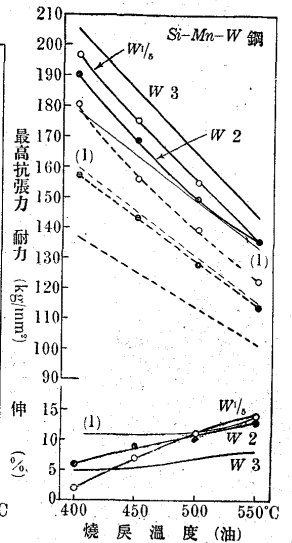
第 15 圖



第 17 圖



第 18 圖



表に示す如き温度にて熱処理を施行し 諸性質の測定に供した

(a) 抗張的性質:一第4表及(1)と比較圖示せる第13圖の如く Cr 2% 迄は Si-Mn 鋼(1) に比し最高抗張力並に耐力(0.15% 永久變形を生ずる應力)は漸次増加するが靱性は稍減少する傾向を有する 更に Cr 量が増加し 3% 以上に達するとそれに伴て最高抗張力耐力及靱性は漸次減少し次第に脆弱となる

(b) 衝撃値:一アイゾット衝撃値は表示の如く Cr 1/2 は

(1) に比し著しく大であるが Cr 量 1% 以上に達すると大差なきに至る スタントン繰返打數(以下總て鋸の高さ 20mm, 40mm 及 80mm の場合の値を示す)は(1)より著しく少い 焼入温度は 830°C にては稍低き感ある 焼戻は油冷が空冷に比し稍靱性を増す Cr 1/2, Cr 1, Cr 2 及 Cr 3 に於ては油 空冷 何れの焼戻に於ても 500~550°C 附近に焼戻脆性が僅に認められる

之等組成の Si-Mn 鋼に Cr を添加すると 1% 以下に於ては比較的高温度の焼戻による最高抗張力並に耐力の

第 4 表

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 數			
	油焼入	焼 戻	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (0.15%) (kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	断面絞 (%)	ブリネル (10mm/ 3,000kg)	ロックウ エル(c)	シヨア-		20mm	40mm	80mm	
1	830	450	156.8	129.3	12	30	420	47.4	54	6.7	31,783	9,704	1,079	
		550	140.8	122.0	12	29	399	43.6	49	11.7	24,904	8,029	1,248	
	"	550	121.3	99.0	16	35	340	39.0	44	6.6	20,584	5,937	671	
		850	450	159.6	144.0	11	35	428	47.7	54	4.3	32,876	7,066	911
	"	500	150.4	130.0	11	32	402	44.5	50	4.4	32,638	6,862	1,000	
		550	129.5	114.0	14	35	337	38.8	44	8.5	17,921	4,937	370	
	900	500	151.9	135.0	11	29	396	44.8	45	7.2	23,566	8,048	1,458	
		550	133.5	115.0	14	36	335	39.1	39	—	20,265	5,825	255	
	2	830	500	164.4	85.0	11	29	447	49.2	62	2.3	—	—	—
			850	450	173.7	81.0	7	20	474	51.5	65	3.5	—	—
"		500	159.6	101.9	4	4	441	48.8	61	3.1	—	—	—	
		550	144.8	104.5	3	4	402	45.6	57	1.5	2,663	209	—	
900		500	131.9	100.0	1	1	441	49.1	62	3.4	—	—	—	
3	830	450	169.7	149.8	11	32	430	47.7	55	1.4	6,227	224	91	
		500	148.0	131.0	11	32	396	45.1	50	3.1	11,856	2,691	201	
		550	140.5	125.0	13	36	366	42.5	49	2.0	12,316	3,850	143	
		600	122.3	105.0	14	37	338	39.5	46	3.5	19,150	4,600	274	
	850	450	168.5	147.0	4	6	436	47.2	55	1.5	4,106	512	89	
		500	154.6	141.0	9	21	393	44.9	50	1.9	14,438	921	193	
		550	140.5	125.0	8	22	375	41.9	49	3.3	12,638	634	170	
		600	130.5	115.0	13	35	337	39.0	46	2.1	20,126	2,278	202	
	900	500	147.4	131.0	5	7	402	45.7	55	1.3	12,828	1,848	1	
		550	129.4	120.0	3	6	373	42.9	50	1.5	10,770	1,680	290	
		"	600	118.4	110.0	3	4	344	39.9	46	1.7	16,828	1,442	158

第 4 表 (續 き)

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 數				
	油焼入	焼 戻	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (0.15%) (kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	斷面絞 (%)	ブリネル (10mm/ 3,000kg)	ロツクウ エル (c)	シヨアー		20mm	40mm	80mm		
Cr½	830	O. 450	157.8	123.0	10	22	447	47.3	58	10.7	—	—	—		
		"	500	146.7	120.3	11	26	423	46.0	54	—	—	—		
		"	550	139.2	116.5	14	36	382	43.0	50	—	—	—		
		"	600	121.6	104.0	17	40	361	39.7	48	—	—	—		
	850	400	191.4	152.0	7	20	520	51.8	63	12.6	16,875	3,137	340		
		"	450	166.9	138.8	8	26	441	48.0	57	—	—	—		
		"	500	155.9	131.0	11	29	425	44.8	54	21,025	5,692	932		
		"	550	147.1	120.0	18	37	418	44.1	53	—	—	—		
		"	600	127.4	109.0	17	43	377	41.0	49	17,835	7,049	1,420		
		"	400	187.8	152.0	7	16	477	49.2	61	10.8	—	—	—	
	Cr1	830	O.T. 450	176.4	150.0	11	29	488	51.1	64	3.8	10,611	2,300	104	
			"	500	158.1	140.0	10	25	450	48.0	59	3.9	13,935	2,075	188
			"	550	136.7	126.0	12	28	418	44.7	54	2.3	—	—	—
			"	600	124.1	118.0	9	15	380	42.5	51	6.8	—	—	—
850		400	187.4	178.5	2	5	541	54.7	67	3.3	—	—	—		
		"	450	166.9	156.0	7	9	484	51.7	63	3.8	—	—	—	
		"	500	156.5	142.0	13	36	447	48.1	59	1.9	—	—	—	
		"	550	143.7	130.9	4	6	412	45.3	54	2.9	—	—	—	
		"	600	123.8	119.1	5	5	377	42.0	50	9.5	—	—	—	
		"	400	127.5	—	0	0	528	54.0	66	3.6	—	—	—	
Cr2	850	O.T. 400	204.3	172.0	3	8	550	56.0	70	5.2	—	—	—		
		"	450	183.2	156.0	8	20	473	50.5	61	3.4	—	—	—	
		"	500	167.2	145.0	6	17	444	48.0	58	2.9	—	—	—	
		"	550	144.4	129.8	11	30	415	46.0	56	3.9	—	—	—	
	A.T.	400	206.2	169.0	2	9	516	54.3	67	4.9	—	—	—		
		"	450	188.5	160.0	5	6	498	52.2	65	4.1	—	—	—	
		"	500	171.2	152.5	6	10	457	50.0	60	2.7	—	—	—	
		"	550	148.0	132.4	7	13	402	44.4	54	2.8	—	—	—	
		"	600	134.5	122.7	13	29	387	42.7	52	2.8	—	—	—	
		Cr3	830	O.T. 450	143.8	107.5	2	7	405	44.0	52	3.8	—	—	—
"	500			133.2	112.0	3	11	399	44.0	52	6.9	—	—	—	
"	550			120.8	95.0	6	20	321	35.7	43	5.1	—	—	—	
"	600			119.8	90.0	9	21	298	32.1	40	10.0	—	—	—	
850	400		183.1	158.0	2	2	503	51.6	61	4.8	11,560	569	147		
	"		450	168.4	153.0	1	3	470	49.5	58	4.3	18,956	657	100	
	"		500	163.0	145.0	3	6	457	48.7	57	3.5	11,283	621	104	
	"		550	139.4	117.5	5	8	399	44.0	54	5.4	—	—	—	
	"		600	121.3	103.5	10	21	380	41.0	51	4.9	—	—	—	
	"		400	159.0	135.0	3	10	470	49.6	60	4.2	—	—	—	
Cr5	830		O.T. 450	115.0	78.0	11	37	309	35.1	42	10.4	—	—	—	
			"	500	110.7	73.0	11	33	302	33.3	41	5.6	—	—	—
			"	600	97.9	64.0	20	42	284	30.3	38	3.6	—	—	—
			850	400	147.8	105.0	2	5	459	48.2	55	5.8	20,137	1,374	78
	"	450		143.9	98.8	2	3	438	45.5	54	5.1	23,610	1,131	30	
	"	500		137.9	89.0	4	6	382	42.8	50	4.2	9,778	203	58	
	"	600		108.1	74.5	11	16	309	34.0	42	4.0	—	—	—	
	"	400		147.8	107.0	3	14	450	48.3	55	5.4	—	—	—	
	"	500		140.7	97.8	7	14	368	40.2	47	4.4	—	—	—	
	"	600	106.1	79.0	16	47	302	34.4	41	3.2	—	—	—		

低下が(1)に比し小なるため抗張力及耐力は増大する結果となるが靱性を稍害ふ

影響を求めし結果の一部を第5表及第14圖に示す

(a) 抗張的性質:一第5表並に(1)と比較圖示せる第

(2) ニッケルの影響

上述の熱処理を施行し Ni の

14圖の如く Ni 量 0.5% の添加によって低温焼戻に於け

第 5 表

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 數		
	油焼入	焼 戻	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (0.15%) (kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	断面絞 (%)	ブリネル (10mm/ 3,000kg)	ロックウ エル (c)	シヨア- 		20mm	40mm	80mm
Ni½	850	O.T. 400	196.6	175.0	11	38	524	52.5	62	3.3	9,643	836	182
		450	169.8	157.0	11	37	470	50.0	58	4.3	14,760	2,937	214
		500	146.9	133.0	11	33	425	46.3	54	3.8	22,026	2,859	180
		550	129.6	115.0	13	32	375	41.8	48	2.8	—	—	—
		600	115.3	98.0	18	44	344	38.2	45	6.6	—	—	—
		A.T. 400	200.0	180.0	9	30	524	53.2	64	3.7	—	—	—
	450	168.4	153.0	10	33	467	49.5	58	5.9	—	—	—	
	500	150.1	135.0	11	34	428	46.8	55	3.2	—	—	—	
	550	131.9	116.0	12	33	387	42.5	50	2.7	—	—	—	
	600	116.8	101.0	15	37	342	38.9	45	6.7	—	—	—	
	880	O.T. 450	170.3	150.0	11	36	467	48.3	57	4.7	—	—	—
		500	150.1	130.0	11	33	415	44.3	52	4.9	—	—	—
		550	146.9	128.0	11	32	375	41.8	48	2.5	—	—	—
		600	114.0	96.0	17	42	337	38.5	45	9.3	—	—	—
Ni1	850	O.T. 400	196.6	179.0	11	41	524	53.0	62	4.0	15,791	1,414	265
		450	167.7	154.0	11	30	470	49.8	58	3.8	17,041	3,164	256
		500	148.2	133.0	14	35	425	45.9	53	3.3	36,182	1,837	120
		550	130.4	116.0	16	37	375	40.8	48	3.0	—	—	—
		600	114.6	99.0	19	42	337	37.7	45	7.3	—	—	—
		A.T. 400	197.9	173.0	11	42	528	53.5	62	3.8	—	—	—
	450	169.2	164.0	11	36	470	48.5	56	4.3	—	—	—	
	500	149.9	135.0	11	33	433	46.0	55	2.7	—	—	—	
	550	131.5	115.0	14	35	385	42.2	49	6.3	—	—	—	
	600	117.6	102.0	17	37	334	37.8	44	6.9	—	—	—	
	880	O.T. 450	166.4	151.0	12	37	466	49.8	60	3.5	—	—	—
		500	147.1	132.0	9	21	418	45.6	52	3.3	—	—	—
		550	146.8	131.0	11	32	366	40.8	49	3.0	—	—	—
		600	115.4	98.0	18	43	334	38.0	46	5.4	—	—	—
Ni2	850	O.T. 450	162.2	142.0	0	0	474	49.6	58	2.6	14,706	1,581	189
		500	147.8	131.0	3	—	425	45.4	54	1.5	7,067	1,604	2
		550	129.1	118.0	8	—	399	43.5	50	1.7	28,852	1,123	258
		600	108.9	103.0	10	25	338	37.3	45	4.9	—	—	—
	A.T. 500	124.6	123.0	1	—	438	46.7	55	1.7	—	—	—	
		550	114.0	112.7	3	—	402	44.3	51	1.4	—	—	—
		600	116.4	103.5	5	—	351	39.0	46	3.5	—	—	—
	880	500	112.1	—	0	0	433	46.8	55	1.5	—	—	—
		550	52.2	—	0	0	377	41.8	49	2.0	—	—	—
		600	119.4	103.0	11	20	351	39.9	47	8.5	—	—	—
Ni3	850	O.T. 550	134.3	117.5	9	12	393	43.0	52	1.7	23,328	429	49
		600	119.2	102.5	7	7	342	38.3	46	3.7	—	—	—
	A.T. 550	131.5	120.0	3	—	393	43.7	54	1.3	—	—	—	
		600	110.8	106.7	3	—	347	39.4	47	1.2	—	—	—
	880	O.T. 500	139.0	—	2	—	418	45.7	56	1.9	—	—	—
		550	46.1	—	0	—	385	43.9	52	1.1	—	—	—
600	117.4	96.5	14	27	354	40.4	50	4.9	—	—	—		
Ni5	850	O.T. 450	150.3	132.0	1	—	474	49.9	57	1.3	5,654	142	4
		500	152.3	124.0	10	18	435	47.4	55	1.8	1,852	597	80
		550	139.3	115.0	14	30	396	43.7	51	1.3	13,201	392	40
		600	125.1	99.0	14	28	361	40.5	47	2.1	—	—	—
	A.T. 500	161.1	130.0	3	5	441	48.6	55	1.4	—	—	—	
		550	133.1	121.0	3	2	402	45.0	51	1.0	—	—	—
		600	129.1	101.0	6	20	366	40.0	45	1.1	—	—	—
	880	O.T. 450	180.5	125.0	8	14	477	51.4	59	1.4	—	—	—
		500	158.5	114.0	9	23	444	48.6	56	1.4	—	—	—
		550	158.7	115.0	9	23	405	45.0	52	1.3	—	—	—
600	127.5	96.0	11	28	356	41.0	46	2.2	—	—	—		

る最高抗張力及耐力は著しく増加し靱性は何等害はれない  
更に Ni を増し 2, 3, 5% に至ると最高抗張力 耐力並に  
靱性は反て著しく低下する

いときは(1)と大差ないが Ni 量が増加するに従て減少す  
る スタントン繰返打數も同傾向を示す 500~550°C 焼  
戻 (空気, 油共) にて衝撃値は稍と低下する

(b) 衝撃値: 一表示の如くアイゾット衝撃値は Ni 量低

之等組成の Si-Mn 鋼に 1% 以下の Ni を添加すると

第 6 表

試験材 記 号	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイソット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 数		
	油焼入	焼 戻	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (0.15%) (kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	断面絞 (%)	ブリネル (10mm/ 3,000kg)	ロツクウ エル (c)	シヨアー		20mm	40mm	80mm
Mo ½	850	O.T. 400	199.8	177.0	3	—	536	54.2	66	4.1	—	—	—
		450	169.4	148.0	9	32	441	41.4	55	4.6	27,300	8,258	1,208
		500	153.1	136.0	10	30	444	46.0	57	12.6	21,312	9,451	2,478
		550	143.1	126.0	11	33	415	44.0	53	9.9	26,961	10,181	3,528
		600	123.6	105.0	15	43	344	34.0	44	20.7	—	—	—
		A.T. 400	191.5	177.0	3	—	509	49.5	65	3.6	—	—	—
	450	169.2	149.0	10	30	444	46.5	59	7.4	—	—	—	
	500	149.6	133.0	11	25	450	46.5	57	6.0	—	—	—	
	550	140.9	126.0	14	36	412	41.2	54	14.2	—	—	—	
	600	127.9	108.0	18	43	361	39.1	50	25.4	—	—	—	
	900	450	171.6	153.0	10	29	463	59.8	58	3.5	—	—	—
	500	152.1	137.6	11	24	444	43.7	54	4.4	—	—	—	
550	140.8	126.0	12	35	420	42.8	52	6.4	—	—	—		
600	124.6	109.4	15	39	356	37.9	48	20.4	—	—	—		
Mo ½	850	400	205.0	180.0	8	15	578	56.1	67	4.6	—	—	—
		450	185.3	160.0	9	16	495	52.4	61	4.7	29,057	3,392	600
		500	169.2	148.0	9	20	470	49.9	56	6.7	31,588	6,110	889
		550	153.2	136.0	11	27	433	49.5	53	12.2	31,709	9,254	577
		600	130.2	110.0	15	38	393	44.1	50	16.9	—	—	—
		A.T. 400	193.9	186.5	0	0	528	53.1	63	4.4	—	—	—
	450	184.9	159.8	9	20	498	50.4	61	4.6	—	—	—	
	500	170.4	152.8	9	21	463	49.0	58	8.3	—	—	—	
	550	159.6	143.0	10	21	436	45.2	56	10.4	—	—	—	
	600	132.3	114.5	14	32	373	41.0	48	22.6	—	—	—	
	900	450	179.8	154.0	3	—	503	50.4	61	5.7	—	—	—
	500	170.0	148.8	5	8	488	46.3	57	5.9	—	—	—	
550	158.3	139.5	8	14	447	46.1	54	10.9	—	—	—		
600	137.8	119.2	14	24	402	42.3	50	17.9	—	—	—		
Mo 1	850	400	211.8	185.0	8	18	564	53.5	64	8.1	—	—	—
		450	190.6	161.3	8	18	488	48.6	58	7.8	31,144	7,800	866
		500	175.3	158.3	8	19	474	45.4	56	8.2	31,618	8,130	1,246
		550	162.3	149.5	9	20	438	43.7	52	7.8	31,173	9,592	1,753
		600	131.6	105.6	15	33	393	42.3	48	13.9	—	—	—
		A.T. 400	202.7	177.0	6	16	532	53.8	62	7.8	—	—	—
	450	189.8	154.8	9	19	481	50.7	59	6.9	—	—	—	
	500	174.8	163.1	9	20	463	47.0	56	6.9	—	—	—	
	550	158.7	117.5	10	21	428	43.9	49	6.9	—	—	—	
	600	133.4	95.5	14	30	387	41.4	48	18.3	—	—	—	
	900	450	193.2	131.4	10	23	520	52.6	63	12.7	—	—	—
	500	180.0	155.5	10	31	505	51.6	59	12.0	—	—	—	
550	167.7	150.0	10	21	477	50.7	57	10.3	—	—	—		
600	144.5	130.0	14	34	428	44.6	48	9.3	—	—	—		
650	115.4	101.6	19	32	347	38.6	43	19.9	—	—	—		
Mo 2	850	400	207.3	186.0	6	—	573	60.1	68	7.3	—	—	—
		450	186.5	154.0	7	—	505	51.2	54	7.2	33,236	5,898	299
		500	174.8	153.0	7	—	495	49.3	52	8.1	23,559	4,569	433
		550	159.0	142.0	10	17	441	45.6	48	7.9	27,305	5,987	1,138
		600	130.0	112.0	13	26	377	39.3	45	12.1	—	—	—
		A.T. 400	210.4	181.3	6	—	550	52.0	60	7.0	—	—	—
	450	186.5	157.5	7	—	488	50.7	57	7.0	—	—	—	
	500	173.5	154.5	7	—	463	49.2	53	7.7	—	—	—	
	550	159.4	143.5	8	14	436	43.7	48	5.7	—	—	—	
	600	132.2	113.0	14	27	364	36.9	42	13.4	—	—	—	
	900	450	203.0	168.4	5	—	498	46.0	57	5.4	—	—	—
	500	183.7	170.5	6	—	488	45.4	55	7.4	—	—	—	
550	173.4	160.0	9	15	484	48.0	51	7.2	—	—	—		
600	140.3	126.0	13	31	408	42.5	45	10.3	—	—	—		
Mo 3	850	400	182.6	145.5	5	10	474	48.7	54	7.2	—	—	—
		450	170.6	135.2	8	11	436	45.5	52	7.7	27,612	2,991	129
		500	163.2	125.7	9	13	433	45.4	52	7.2	27,544	6,100	259
		550	147.5	118.0	9	15	390	42.3	47	7.0	21,579	5,297	689
		600	125.0	98.7	13	30	364	38.5	45	10.3	—	—	—
		A.T. 400	182.6	145.5	5	10	488	50.1	57	7.1	—	—	—
	450	170.6	135.2	8	11	457	48.3	53	7.8	—	—	—	
	500	163.2	125.7	9	13	433	45.8	53	7.7	—	—	—	
	550	147.5	118.0	9	15	399	42.5	49	14.6	—	—	—	
	600	132.9	100.6	13	24	359	39.4	45	15.1	—	—	—	
	900	450	187.1	164.5	8	14	498	50.8	58	9.0	—	—	—
	500	178.4	157.2	8	22	470	45.8	55	7.2	—	—	—	
550	166.5	148.0	9	16	470	48.3	54	8.0	—	—	—		
600	144.7	118.0	10	15	390	42.9	49	8.6	—	—	—		



低温焼戻に於ける靱性を(1)と同様に保ちて最高抗張力殊に耐力を著しく増加せしむる傾向を有する 焼戻に對しては *Si-Mn* 鋼(1)に比し稍々敏感となる

(3) モリブデンの影響 上述の熱處理を施行し *Mo* の影響を求めし結果の一部を第6表及第15圖に示す

(a) 抗張的性質:—第6表及(1)と比較圖示せる第15圖の如く *Mo* の少量は最高抗張力及耐力を増加する方向に働く 即 *Mo* を 0.2, 0.5, 1% 添加すると之等の値を著しく増加せしむる 然し靱性は稍害ふ 更に *Mo* を増し 3% に達すると最高抗張力は著しく減少する これは前述

の如き焼戻効果の減少に起因する

(b) 衝撃値:—斯くの如く最高抗張力及耐力の著しき増加にも拘らずアイゾット衝撃値は *Mo* 少量なる間は(1)と大差なく *Mo* の増加するに従て大となる スタントン繰返打數も同じ傾向を有する 焼戻温度は 850°C より 900°C が焼戻効果は充分である 尙焼戻脆性は何等認められない

之等組成の *Si-Mn* 鋼に 1% 以下の *Mo* を添加すると最高抗張力及耐力を著しく増大し 靱性は稍害ふが衝撃値を増す傾向があり 總括的に見て *Mo* の少量は好影響を

第 7 表

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 ( <i>ft-lbs</i> )	ス タ ン ト ン 打 數			
	油焼入	焼 戻	抗張力 ( <i>kg/mm<sup>2</sup></i> )	耐 力 (0.15%) ( <i>kg/mm<sup>2</sup></i> )	伸(%)	斷面絞 (%)	ブリネル (10mm/ 3,000kg)	ロックウ エル ( <i>c</i> )	ショアー		20mm	40mm	80mm	
V½(a)	850	O.T. 400	269.3	191.9	5	9	541	55.5	66	5.3	—	—	—	
		450	190.3	165.0	5	15	516	53.0	62	3.4	28,098	1,960	64	
		500	174.0	149.5	6	12	481	51.0	59	2.8	12,976	1,426	75	
		550	161.7	145.0	12	33	454	48.8	55	2.9	21,570	2,077	4	
		600	143.1	128.0	14	34	423	45.7	51	7.3	—	—	—	
		A.T. 400	202.2	185.0	1	4	528	54.8	64	5.1	—	—	—	
	880	450	179.2	160.0	2	4	495	52.0	60	3.8	—	—	—	
		500	175.7	154.5	5	5	481	50.1	58	2.8	—	—	—	
		550	164.6	152.5	11	29	474	50.2	58	2.2	—	—	—	
		600	144.8	131.5	12	23	418	45.7	51	3.0	—	—	—	
		O.T. 450	187.4	153.0	6	5	512	53.3	61	3.7	—	—	—	
		500	171.5	146.8	8	26	488	51.5	59	4.9	—	—	—	
	V½(b)	830	O.T. 450	147.0	113.0	12	31	402	43.8	50	9.8	—	—	—
			500	132.8	109.0	14	45	380	42.0	47	8.7	—	—	—
550			127.5	105.5	14	35	338	37.8	42	9.9	—	—	—	
600			114.1	87.0	17	44	311	35.5	40	12.7	—	—	—	
850		O.T. 400	180.4	153.0	9	33	474	48.1	54	8.1	14,337	9.2	151	
		450	156.7	138.0	11	32	408	44.0	50	8.1	26,549	8,078	2,506	
		500	138.4	119.0	14	36	377	40.3	45	10.8	27,165	6,085	979	
		550	125.9	104.0	14	38	364	39.5	45	11.6	—	—	—	
		600	114.0	91.0	17	45	332	36.7	42	16.9	—	—	—	
		A.T. 400	185.1	157.0	11	34	474	48.5	55	6.4	—	—	—	
		450	156.1	137.0	12	35	423	45.5	51	11.2	—	—	—	
		500	142.6	126.0	14	38	387	42.5	49	8.4	—	—	—	
V½		830	T.O. 450	144.6	118.0	12	33	396	41.0	47	8.4	—	—	—
			500	134.9	108.0	13	34	368	40.8	46	8.2	—	—	—
	600		113.4	85.0	17	42	321	36.2	41	10.8	—	—	—	
	850	400	183.1	159.0	10	26	470	49.3	54	6.2	9,043	947	131	
		450	158.8	140.0	12	35	436	46.4	53	8.7	21,753	7,613	873	
		500	143.6	128.0	13	35	399	43.2	48	6.9	16,490	6,001	1,406	
		550	129.4	114.0	14	38	385	42.6	48	6.5	—	—	—	
		600	116.4	101.0	18	43	340	38.3	44	9.1	—	—	—	
		A.T. 400	178.0	151.0	9	29	454	48.1	54	6.5	—	—	—	
	VI	850	O.T. 400	109.4	65.0	18	41	304	32.4	36	9.8	28,660	2,791	506
			500	99.9	60.0	20	46	285	29.5	35	13.7	11,228	3,326	671
			600	90.9	55.0	22	49	261	25.3	33	6.5	11,780	1,941	419
		A.T. 400	107.0	65.0	19	43	304	32.6	38	5.8	—	—	—	
			500	98.5	60.5	20	41	287	30.5	37	7.0	—	—	—
600	90.9	55.5	21	48	265	27.2	35	14.9	—	—	—			

與へると考へられる

(4) ワナデウムの影響 上述の熱処理を施行し V の影響を求めし結果の一部を第7表及第16圖に示す

(a) 抗張的性質;—第7表並に(1)と比較圖示せる第16圖の如く V1/5(a)は最高抗張力及耐力は著しく高いが伸及絞率は低い V1/5(b)は(1)と殆ど大差なく更に V量を増すと最高抗張力及耐力は漸次減少し靱性を増す

(b) 衝撃値:—表示の如く Vの添加によってアイゾット衝撃値並にスタントン繰返打数は稍増加する 500~

550°C 焼戻に於て焼戻脆性を僅に示し衝撃値を稍低下する

以上の如く Vの添加によって Si・Mn 鋼(1)は改良されること少い

(5) コバルトの影響 前述の如く Coを添加せる場合 最大硬度を得る焼入温度は 850~900°C にある 依て 850°, 900°C より前述の如く焼入を施行し 400~700°C にて焼戻し Coの影響を求めた 其結果の一部を第8表及第17圖に示す

第 8 表

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 數				
	油焼入	焼 戻	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	耐 力 (0.15%) (kg/mm <sup>2</sup> )	伸(%)	断面絞 (%)	ブリネル 10mm 3,000kg	ロックウ エル (c)	シヨアー		20mm	40mm	80mm		
Co 1/2	850	O.T. 400	199.4	182.0	11	39	512	51.0	58	3.5	9,174	635	143		
		"	450	162.8	149.0	11	34	454	49.0	54	4.5	29,509	4,610	382	
		"	500	145.8	130.0	14	35	408	44.0	50	10.6	24,394	3,314	585	
		"	550	131.6	114.0	17	38	366	41.5	47	4.2	—	—	—	
		"	600	114.3	95.0	20	43	323	36.9	42	10.3	—	—	—	
		"	A.T. 400	194.7	178.0	12	43	467	48.5	55	4.6	—	—	—	
	900	"	450	154.6	141.0	12	35	423	45.2	51	3.8	—	—	—	
		"	500	133.5	118.0	14	35	377	39.6	47	3.1	—	—	—	
		"	550	119.9	100.0	18	41	317	36.5	41	6.9	—	—	—	
		"	600	107.5	89.0	20	43	304	34.2	40	20.3	—	—	—	
		"	O.T. 450	163.1	147.0	11	38	450	47.5	54	5.2	—	—	—	
		"	500	144.0	129.0	12	33	405	43.5	50	3.9	—	—	—	
	Co 1	850	O.T. 400	214.3	182.2	11	37	520	53.2	61	2.5	10,861	486	123	
			"	450	171.5	151.0	13	36	454	49.0	55	4.0	29,243	3,676	420
			"	500	157.8	131.0	13	35	422	44.3	50	3.4	17,883	2,814	268
			"	550	129.2	114.0	17	36	373	41.8	48	3.2	—	—	—
			"	600	122.3	106.6	20	40	332	37.0	43	16.6	—	—	—
			"	A.T. 400	210.8	180.0	10	40	474	50.0	59	7.6	—	—	—
900		"	450	152.6	136.0	13	32	423	46.3	54	3.5	—	—	—	
		"	500	136.6	120.0	14	32	377	41.5	49	2.2	—	—	—	
		"	550	120.1	101.0	18	36	323	37.0	42	5.9	—	—	—	
		"	600	109.3	85.0	21	44	298	33.5	38	17.8	—	—	—	
		"	O.T. 450	173.0	140.0	10	31	450	46.6	54	3.8	—	—	—	
		"	500	143.7	129.5	10	22	405	42.9	49	2.8	—	—	—	
Co 3		850	O.T. 400	200.7	182.0	4	—	512	51.0	58	3.0	2,509	360	85	
			"	450	172.5	150.0	9	30	450	47.2	54	6.6	11,894	1,091	125
			"	500	149.8	127.0	10	30	415	44.0	50	2.9	8,543	1,400	148
			"	550	133.1	111.0	15	31	371	40.9	47	3.2	—	—	—
			"	600	114.9	92.0	19	41	334	36.8	42	9.2	—	—	—
			"	A.T. 400	201.8	180.0	9	29	474	48.0	55	3.0	—	—	—
	900	"	450	160.3	147.1	11	33	418	44.6	51	4.3	—	—	—	
		"	500	136.7	122.0	14	31	373	42.3	46	2.1	—	—	—	
		"	550	123.7	107.0	18	40	321	35.1	41	3.9	—	—	—	
		"	600	110.3	93.0	19	46	293	33.3	38	7.2	—	—	—	
		"	O.T. 450	177.4	163.0	10	30	454	46.3	53	3.4	—	—	—	
		"	500	149.9	135.5	7	20	415	43.0	50	2.6	—	—	—	
	Co 5	850	O.T. 400	207.3	180.9	5	—	423	46.5	51	2.1	2,140	256	91	
			"	450	176.6	155.5	7	—	438	46.0	51	3.0	11,321	408	58
			"	500	150.8	135.5	11	25	361	39.0	45	2.5	6,133	789	126
			"	550	121.6	106.2	15	35	338	38.2	43	4.6	—	—	—
			"	600	105.6	84.7	15	37	291	33.0	38	13.4	—	—	—
			"	A.T. 400	185.1	169.0	4	—	447	46.6	51	8.1	—	—	—
900		"	450	133.5	117.0	11	29	364	39.7	44	2.9	—	—	—	
		"	500	107.0	84.0	20	43	293	29.6	35	6.2	—	—	—	

(a) 抗張的性質:—第8表及(1)と比較圖示せる第17圖の如く  $Co$  を少量添加すると低温焼戻に於ける最高抗張力及耐力は著しく増大し 靱性は何等減少を示さず 然して高温焼戻に於ける最高抗張力及耐力は(1)と大差なきに至るが靱性は(1)に比し更に大となる  $Ni$  も之と類似の影響を及ぼす  $Co$  量が増加し 5% に至ると最高抗張力 耐力並に靱性は何れも低下する

(b) 衝撃値:—表示の如くアイゾット衝撃値は  $Co$  量少い間は著しき影響は認め難いが 1% に達すると稍低下す

る スタントン繰返打數も同じ傾向を示す  $850^{\circ}C$  焼入に比し  $900^{\circ}C$  焼入が靱性稍大である  $Co$  量 1% 以上に至ると  $500^{\circ}C$  附近の焼戻(油, 空気共)に於て稍衝撃値の低下を來たす

0.5% 以下の  $Co$  の添加によつて  $Si \cdot Mn$  鋼(1)の靱性 衝撃値を害ふことなくして低温焼戻に於ける最高抗張力及耐力を増大せしめ得る 焼戻に對しては  $Ni$  と同様敏感である

(6) タングステンの影響 上述の如き熱處理を施行

第 9 表

試験材 記 號	熱 處 理		抗 張 的 性 質				硬 度			アイゾット 衝 撃 値 (ft-lbs)	ス タ ン ト ン 打 數			
	油焼入	焼 戻	抗張力 ( $kg/mm^2$ )	耐 力 ( $0.15\%$ ) ( $kg/mm^2$ )	伸(%)	斷面絞 (%)	ブリネル ( $10mm/$ $3,000kg$ )	ロックウ エル (c)	シヨア ー		20mm	40mm	80mm	
W%	850	O.T. 400	196.5	180.5	2	3	512	52.0	65	3.5	4,084	704	152	
		450	175.3	155.9	7	18	509	50.9	64	3.1	16,399	3,523	283	
		500	155.0	139.2	11	26	463	50.6	60	7.3	12,748	5,912	283	
		550	135.3	121.9	14	31	423	43.0	53	11.4	—	—	—	
		600	121.2	106.0	17	38	396	41.4	50	14.8	—	—	—	
		A.T. 400	201.6	184.0	4	6	512	52.2	62	2.3	—	—	—	
	900	450	174.7	155.0	9	14	484	50.5	59	3.3	—	—	—	
		500	155.9	140.6	10	26	444	47.4	57	3.5	—	—	—	
		550	138.7	123.8	14	34	408	44.9	55	3.7	—	—	—	
		600	124.8	107.0	16	39	368	38.3	49	11.4	—	—	—	
		450	171.5	156.0	7	15	532	53.5	63	4.0	—	—	—	
		500	159.4	139.0	10	24	520	52.0	61	3.3	—	—	—	
	W2	850	O.T. 400	190.0	157.0	5	23	489	49.3	56	9.5	16,216	1,205	193
			450	168.9	144.5	8	32	463	47.9	55	10.8	20,831	6,136	525
			500	149.5	127.5	11	15	438	46.1	53	9.7	19,244	5,933	775
550			135.5	113.5	12	35	408	44.2	50	11.7	—	—	—	
600			123.3	105.0	16	48	373	39.9	46	13.1	—	—	—	
A.T. 400			188.0	148.0	6	14	484	49.2	56	8.1	—	—	—	
900		450	164.8	131.4	9	15	447	46.0	52	8.8	—	—	—	
		500	151.4	126.9	10	24	430	43.4	52	8.1	—	—	—	
		550	136.4	113.6	13	30	396	41.0	47	11.3	—	—	—	
		600	122.4	101.8	16	36	359	40.9	45	11.7	—	—	—	
		450	180.5	162.6	8	14	528	53.5	62	7.0	—	—	—	
		500	163.1	150.5	7	15	495	49.3	57	6.4	—	—	—	
W3		850	O.T. 400	205.4	137.0	5	13	537	51.8	63	4.6	7,144	1,000	165
			450	186.3	122.5	4	12	457	46.6	57	3.3	9,514	689	158
			500	164.7	114.5	7	17	447	44.2	56	4.8	8,764	2,140	189
	550		143.5	100.5	8	14	408	41.7	50	3.6	—	—	—	
	600		123.4	85.5	11	23	351	39.5	46	7.6	—	—	—	
	O.T. 400		199.8	131.5	6	10	559	53.8	67	6.8	—	—	—	
	900	450	163.4	116.5	1	1	450	46.9	58	2.7	—	—	—	
		500	122.9	80.0	7	21	361	36.9	48	4.1	—	—	—	
		450	195.5	137.5	6	21	484	49.9	61	6.9	—	—	—	
		500	178.6	128.5	6	21	467	47.5	59	7.2	—	—	—	
		600	126.3	92.5	4	7	373	41.8	49	6.1	—	—	—	
		W4	850	O.T. 400	189.8	120.0	4	7	512	51.5	65	3.8	2,339	558
	500			149.4	114.5	7	13	425	43.0	54	3.3	11,230	1,386	146
	600			132.0	103.5	12	23	361	37.7	45	8.3	—	—	—
	O.T. 400			189.0	136.5	4	8	509	47.6	59	5.2	—	—	—
500	161.0			132.0	8	14	430	43.4	53	3.4	—	—	—	
600	129.2			105.5	12	25	338	40.7	46	4.8	—	—	—	
900	450		189.1	163.5	4	6	498	49.7	60	7.5	—	—	—	
	500		173.5	152.5	5	14	470	48.3	58	3.5	—	—	—	
	600		134.9	115.3	12	26	375	39.5	49	2.8	—	—	—	

し  $W$  の影響を求めし結果の一部を第9表及第18圖に示す

(a) 抗張的性質:—第9表並に(1)と比較圖示せる第18圖の如く 第18圖  $W$  量 0.2% に於ては最高抗張力及耐

力は著しく増加し 低温焼戻に於ける伸及絞率は減少する更に  $W$  量が増加すると最高抗張力は更に増加するにも拘らず耐力は反て減少を示す これは他元素には見られなかつた特徴である

顯 微 鏡 組 織 (× 200 1% 硝酸腐蝕)

No. 1	No. 2	No. 3	No. 4
Cr $\frac{1}{2}$ 775°C O.Q.	Cr $\frac{1}{2}$ 875°C O.Q.	Cr $\frac{1}{2}$ 1050°C O.Q.	Cr $\frac{1}{2}$ 850°C O.Q. 550°C A.T.
No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
Ni 825°C O.Q.	Ni 1050°C O.Q.	Ni $\frac{1}{2}$ 880°C O.Q. 450°C O.T.	Mo $\frac{1}{2}$ 775°C O.Q.
No. 9	No. 10	No. 11	No. 12
Mo $\frac{1}{2}$ 900°C O.Q.	Mo $\frac{1}{2}$ 850°C O.Q. 450°C O.T.	Mo 1 1050°C O.Q.	V $\frac{1}{2}$ (a) 900°C O.Q.
No. 13	No. 14	No. 15	No. 16
V 900°C O.Q.	V 1 1050°C O.Q.	Co $\frac{1}{2}$ 750°C O.Q.	Co $\frac{1}{2}$ 900°C O.Q.
No. 17	No. 18	No. 19	No. 20
Co $\frac{1}{2}$ 1050°C O.Q.	Co $\frac{1}{2}$ 850°C O.Q. 550°C O.T.	W $\frac{1}{2}$ 750°C O.Q.	W $\frac{1}{2}$ 850°C O.Q.

(b) 衝撃値:一表示の如くアイゾット衝撃値は  $W$  の少量なる間は稍増加するが 添加量の増すに従て減少する スタントン繰返打数は添加量の増すに従て減少する 3% 以上となると  $500\sim 550^{\circ}\text{C}$  焼戻 (油, 空気共) に於て焼戻脆性を示す

以上の如く  $W$  の添加によつて  $Si \cdot Mn$  鋼 (1) の機械的性質は改善されない

要之 以上述べ来た之等六元素の  $Si \cdot Mn$  鋼 (1) の機械的性質に及ぼす影響は次の如し

(1) 一般に添加元素が少量なる間 (主として 1% 以下) は最高抗張力及耐力は増加し 或量以上に達すると之等の値が低下すると共に靱性も減少し脆弱となる

(2)  $Ni$  及  $Co$  は少量添加によつて低温焼戻に於ける最高抗張力 耐力を増し然も靱性を害ふことなく 衝撃値にも好影響を及ぼす

(3)  $Mo$  の少量は最高抗張力及耐力を著しく増加し 衝撃値を稍増すが靱性を僅に害ふ

(4)  $Cr, V,$  及  $W$  は少量添加すると最高抗張力及耐力を著しく増加するが靱性を害ひ脆弱となる

## V. 顯微鏡組織

上述の如き各種の熱処理を施行せる硬度試験片に就き顯微鏡組織を検した 其代表的なものを次に示す

寫眞 No.1~4 は  $Cr 1/2$  の熱処理後の組織にして No. 1, 2, 3 は夫々  $775^{\circ}, 875^{\circ}, 1,050^{\circ}\text{C}$  より油焼入せるものにて第 7 圖に相當する No.1 はフェライト 粒狀セメントイトより成り従て焼入硬度は低い No.2 はマルテンサイトにして最高焼入硬度を示せるものである 第 7 圖によつて明なる如く 焼入硬度が更に上昇すると 焼入効果は減少する これは残留オーステナイトに起因することは前に述べた No.3 は  $1,050^{\circ}\text{C}$  焼入のものでマルテンサイト中に残留オーステナイトが認められる No.4 は  $850^{\circ}\text{C}$  油焼入  $550^{\circ}\text{C}$  焼戻の組織を示す

寫眞 No.5, 6, 7 は  $Ni$  添加の第 8 圖に相當するものの組織を示す No.5, 6 は夫々  $Ni 1$  を  $825^{\circ}, 1,050^{\circ}\text{C}$  より油焼入せる組織にして硬度の低い No.6 には No.3 と同様残留オーステナイトが認められる No.7 は  $Ni 1/2$  を  $880^{\circ}\text{C}$  油焼入  $450^{\circ}\text{C}$  油焼戻せるトルースタイト組織を示す 此焼戻組織は他元素の場合に比し極めて微細である

寫眞 No.8~11 は  $Mo$  添加の第 9 圖に相當するものの組織を示す No. 8, 9 は  $Mo 1/5$  を  $750^{\circ}, 900^{\circ}\text{C}$  より油焼入せる組織にして No.8 はフェライト 粒狀セメントイトにして硬度は低い No.9 はマルテンサイト組織を有する No.10 は  $Mo 1/2$  を  $850^{\circ}\text{C}$  油焼入  $450^{\circ}\text{C}$  油焼戻せるものにしてトルースタイト中に少量のマルテンサイトが残存してゐる No.11 は  $Mo 1$  を  $1,050^{\circ}\text{C}$  より油焼入せる組織にて残留オーステナイトが認められる

寫眞 No.12, 13, 14 は  $V$  添加の第 10 圖に相當するものの組織を示す No.12 は  $V 1/5(a)$  を  $900^{\circ}\text{C}$  より油焼入せるマルテンサイト組織である No. 13, 14 は  $V 1$  を夫々  $900^{\circ}, 1,050^{\circ}\text{C}$  より油焼入せるものにして第 10 圖の如く硬度の低いのはオーステナイト及  $V$  炭化物に起因する No.14 は全くオーステナイト組織である

寫眞 No. 15~18 は  $Co 1/2$  の各種熱処理後の組織にして第 11 圖に相當する No. 15, 16, 17 は夫々  $750^{\circ}, 900^{\circ}, 1,050^{\circ}\text{C}$  より油焼入せるものにして No. 15 はフェライト 粒狀セメントイト No. 16 はマルテンサイト No.17 はマルテンサイト 残留オーステナイトを示す 又 No. 18 は  $850^{\circ}\text{C}$  油焼入  $550^{\circ}\text{C}$  油焼戻せる組織である

寫眞 No. 19, 20 は  $W 1/5$  を夫々  $750^{\circ}, 850^{\circ}\text{C}$  より油焼入せる組織にして第 12 圖に相當する No. 19 にはフェライト及パーライトが認められ セメントイトは他元素を添加せる場合に比し粒狀化し難い様に見受けられる

## VII. 總 括

航空機構造用  $Si \cdot Mn$  鋼の基本的組成をなす (1) に  $Cr, Ni, Mo, V, Co$  及  $W$  を各單獨に添加し 該鋼の諸性質に對する影響を求めた 之等の結果を總括すると次の如し

(1) 變態に及ぼす影響  $Cr, Co$  は變態温度を上昇せしめ  $Ni$  は之を降下せしむ  $W$  は變態温度には關係なく  $Mo$  は此温度を僅に上昇せしむる傾向を有する 尚  $Cr, Mo, V$  及  $W$  は添加量が増すに従て變態時の容積變化を減少する

(2) 焼入温度並に硬度に及ぼす影響 焼入硬度は  $Cr, Ni$  を添加せる鋼が最も高く  $Mo, W, Co$  添加の鋼が之に次ぐ 最高硬度に達する焼入温度は  $Cr, Mo$  添加の鋼は  $900^{\circ}\text{C}$  前後にて  $Co, W$  添加の鋼に於ては  $850^{\circ}\text{C}$  となり  $Ni$  を添加すると  $800^{\circ}\text{C}$  に降下する 尚焼入効果の生じ始むる温度は  $Cr$  添加にては  $775^{\circ}\sim 800^{\circ}\text{C}$   $Mo, V, Co, W$  添加にては  $750^{\circ}\sim 775^{\circ}\text{C}$   $Ni$  添加にては  $650^{\circ}\sim 725^{\circ}\text{C}$  に降下する

(3) 機械的性質に及ぼす影響  $Ni$  及  $Co$  は少量の添加によつて低温焼戻に於ける最高抗張力及耐力を増加し然も靱性を害ふことなく 衝撃値にも好影響を與ふ  $Mo$  の少量は最高抗張力及耐力を著しく増加し 併せて衝撃値を稍増加するが靱性を僅に害ふ  $Cr, V$  及  $W$  は少量の添加によつて抗張力は増加するが靱性を害ひ脆弱ならしめる

(4) 要之  $Ni, Co$  及  $Mo$  の少量添加によつて該鋼の機械的諸性質を著しく改善せしめ得る