

昭和十年五月二十五日發行

論 說

ニッケル・クロム鋼代用としてのモリブデン鋼 特にクロム・モリブデン鋼の研究

(日本鐵鋼協會第 9 回及第 12 回講演大會講演)

尾 藤 加 勢 士*
石 田 四 郎*

ニッケル・クロム鋼の兵器材料として多量使用されあるは周知の事なるも遺憾ながら本邦に於てはニッケルの資源殆ど無きを以て各所に於て其策研究中なり、本研究は對策案出の一助として遂行したるものなり。

第 1 編 ニッケル・クロム鋼代用鋼に關する歴史的考察、研究方針及研究方法

1. 歴史的考察

(イ) ニッケル・クロム鋼の構造用鋼としての歴史並に現在の位置、構造用強靱鋼としてのニッケル・クロム鋼は斯界の第一位に在り。兵器としても火砲、發動機、自動車並に防楯鋼等の如き最高級材料として使用せられつあり。今其の代用鋼を研究するに當り先づニッケル・クロム鋼發達の歴史を調査し以て其の代用鋼を期待し得る餘地ありや否を考へん。

特殊鋼の性質を考ふるに小片として優秀なるは勿論なるも、普通炭素鋼の追従を許さざるは焼入に對する質量効果なり。即ち炭素鋼は小片に於て相當の焼入効果を有するも肉厚の増大と共に中心部に焼入し難き缺點を有するは周知なり。然るに特殊鋼に於ては肉厚の増大に拘らず中心部迄比較的齊一に焼入せらるるの特徴を有す。

斯く考察する時は特殊鋼の眞價は肉厚大なる火砲砲身に於て最も顯著なる可きを想像し得べし。従つて火砲砲身の

發達の歴史は一面構造用特殊鋼の發達の歴史とも考へらる可し。

今火砲砲身發達の歴史をたづぬるに始めは炭素鋼なりしも焼入不充分なるの故を以てニッケル鋼となり、ニッケル鋼にても尙不充分なるを以て約 20 數年前よりニッケル・クロム鋼となれり。最近に於ては更に一段の進歩をなしニッケル・クロム・モリブデン鋼を使用する事すらあり。

大戦中獨逸國の使用せし火砲²⁾及獨逸に於ける裝甲板³⁾を見るも此發達の經路歴然たるものあり。今參考の爲前者の要點を表示せん(第 1 表)。

第 1 表 獨逸國火砲用鋼

鋼 種	製作年度	成分%			
		C	Ni	Cr	W
炭 素 鋼	1879—1887	0.51			
Ni 鋼	1906	0.39	5.91		
Ni-W 鋼(77 mm 砲)	1906—1916	0.27	5.59		0.65
Ni-Cr 鋼	1905—1918	0.43	2.67	1.36	
同上 (380 mm 砲)		0.49	3.04	1.62	
同上 (77 mm 砲)		0.42	2.89	1.45	

此の表に於て特に注目す可きはニッケル・クロム鋼の構造材としての位置の確立は既に 20 數年前のものに屬する點に在り。

ニッケル・クロム鋼の發達の歴史、以上の如しとせば其

1) 吉川博士：特殊鋼の熱處理に就て 昭和 5 年 10 月日本鐵鋼協會第 4 回研究部會にて講演

2) 川上義弘中佐譯：獨逸國火砲用鋼に就て(大正 14 年 8 月陸軍技術本部印刷)

3) 佐々川清：鐵と鋼 大正 12 年

* 陸軍科學研究所

の代用鋼も考慮の餘地無きにあらざる可し。日進月歩の20餘年、其の間冶金界に於ける顯著なる進歩発見の事實を参照研究せばニッケル・クロム鋼と同等或はそれ以上の構造用鋼の発見は敢て困難にあらざる可し。

(ロ) ニッケル・クロム代用鋼に關する従來の研究
ニッケル・クロム代用鋼に就きては各方面に各種の研究あり。其の内調査し得たる二、三の文献を示せば次の如し。

(i) ギエー氏⁴⁾ マンガン・クロム鋼 1906年發表のものに依ればマンガン・クロム鋼のCr 5.25%以下數種のものに就き研究の結果C 0.25~0.40%, Mn 1~1.5% Cr 0.5~1.0%の鋼は普通ニッケル・クロム鋼代用となし得べしと。

(ii) 某所に於けるタングステン鋼の研究 1922年頃某所に於てニッケル・クロム鋼代用として第1種C 0.3% W 2.0%, 第2種C 0.65%, W 2.1%なる2種の鋼を研究せり。

(iii) 吉川博士⁵⁾の吳工廠に於ける研究 1924年の發表に依れば現用標準ニッケル・クロム鋼(C 0.31%, Ni

焼入温度	弾性限界	破界斷	伸	断面収縮	衝撃値
850°C	kg/mm ²	kg/mm ²	%	%	ft/lb
焼戻 600°C	95	105.0	17.0	53.8	33
" 650°C	76	88.5	20.4	60.6	53

3.26%, Cr 0.98

%)の代用として成分C 0.40%

Ni 0.57%, Cr 2.08%のものは充分使用し得べしと。而して此の鋼の抗力は上表次の如し。

平爐製造に依り此の鋼は小鋼塊として困難なし。又砲身内筒用鋼材としても炭素高きは不利なるも、クロム高きは高温抗力

を増大する故結局に於て焼蝕少なかる可し、故に小口径砲身材料として標準ニッケル・クロム鋼の代用として差支無きものなり。此他C 0.30%, Ni 1.83%, Cr 1.98%のものも完全に焼戻せる状態に於て使用するものとしては差支無く110噸鋼塊を使用し40cm砲身として標準鋼に優る成績を示せりといふ。

(iv) 日本特殊鋼會社渡邊博士⁶⁾の研究 1927年の發表にして前記ギエー氏の結果と殆ど同一の結論を得、日本特許を得マクロンなる名稱にて販賣されあり。

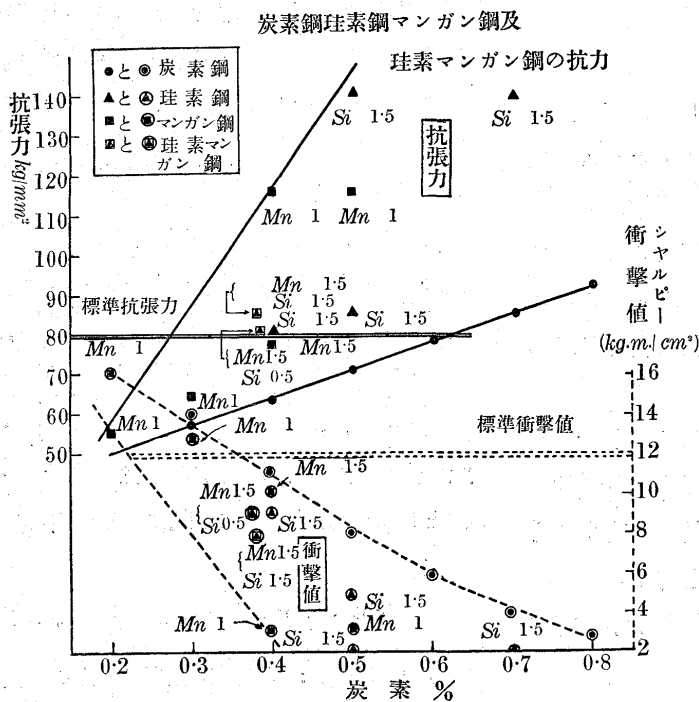
(v) 某所の研究 1927年頃の發表にしてニッケル鋼或はニッケル・クロム鋼代用の研究としてニッケルの幾分を鋼を以て代用せんとせり。

2. 研究方針

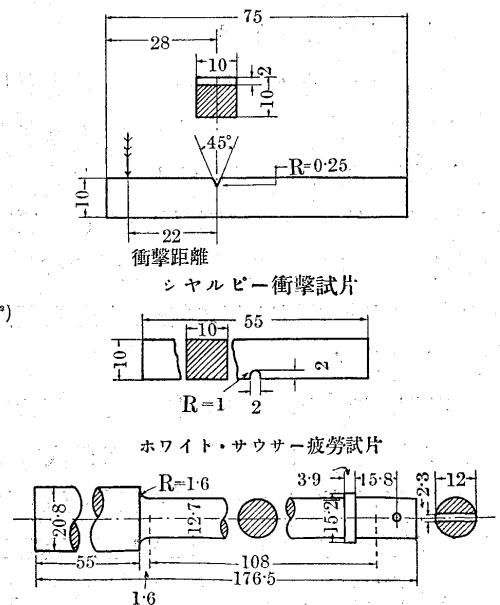
(イ) 成分選定に關する考察 ニッケル・クロム代用鋼の成分選定に當り考ふ可き點二つあり。一は小鋼片の場合の機械的性質にして、他は大鋼片となりたる時の焼入に對する質量効果なり。此の二性質共にニッケル・クロム鋼に匹敵せざる可らず、以下此二點より考へ如何なる成分を選ぶ可きかを述べん。

(i) 小鋼片の機械的性質よりの考察 先づマンガン、珪素、炭素の如き普通元素の影響を考へん。是等三元鋼の

第1圖



第2圖 試片の寸法(mm) アイゾット衝撃試片



性質を文献に依り蒐集せるものを圖示せば第1圖の如し。

⁴⁾ Guillet: J. Iron and Steel Inst. 1906 II p.p. 101-109. Mars: Die Special Stähle p. 365.

⁵⁾ 吉川晴十: 鐵と鋼 大正13年2月 p.p. 35-37.

⁶⁾ 渡邊三郎: 鐵と鋼 昭和2年6月

同圖より判斷するに抗張力 80 kg/mm^2 以上を要求する時マンガンは $1 \sim 1.5\%$ 、珪素は 1.5% 或はマンガン $1 \sim 1.5\%$ と珪素約 1% の共在を要求し、同時に炭素量は $0.3 \sim 0.5\%$ を要し、然かも一般には炭素量 0.4% 附近を要するものゝ如し、

之に反し其の衝撃値シャルピー 12 以上を要求する場合はマンガン約 1% 、炭素 0.3% 以下たるを要するものゝ如し。

故に抗張力と衝撃値とを同時に要求する場合には珪素鋼にては不充分にしてマンガン或はマンガン珪素鋼たるを要するを知る。

然りと雖單純なるマンガン珪素鋼にては未だ其の抗力不充分にしてニッケル・クロム鋼代用としては今一段の抗力増加を計らざる可らず。國產金屬にして此の目的に適するものは⁷⁾クロム並にモリブデン⁸⁾なるべし。モリブデンの國內資源に就きては本論文の末尾附録に記したり。モリブデンは其の發達の歴史新らしき(末尾附録)を以て特に期待し得る添加金屬と考へらる。

(ii) 大鋼片の焼入に對する質量効果よりの考察 鋼の焼入に對する質量効果に就ては詳細なる文献無く、概論を知り得るのみなり。其の内二、三のものを見るにオーバーホツファー氏⁹⁾に依れば深部焼入に對し最も有效なるはニッケル・マンガン・クロムにして此他タングステン・モリブデン・バナヂウムも相當有效なりと。

マイヤー氏¹⁰⁾に依れば深部焼入に最も有效なるはマンガン・ニッケル及ニッケル・クロムの共在にしてクロム・タングステンはそれより幾分弱し。即ちマンガン及ニッケルは其の量を増大せしむる時は遂に其の變態溫度を室温迄低下せしめ得るなり。

以上二者は一般論を質的に述べ居るものにして量的に述べたものにあらず。レッシ氏¹¹⁾に依ればモリブデンは深部焼入に對し頗る有效なりと。

吉川博士¹²⁾に依れば砲身材料の如きは昔は炭素鋼なりしも炭素鋼にては充分焼入し得ざるが故にニッケル鋼となれり、然るにニッケル鋼を油焼入せしのみにては内部迄完全に焼入し得ず、其の爲めにニッケルの他に更にクロムを添加せしむ、之とても寸法大となれば焼入不完全なるを以て更にニッケル・クロム・モリブデン鋼となれりと。

佐々川博士¹³⁾はニッケル・クロム・モリブデン鋼がニッケル鋼或はニッケル・クロム鋼に比し如何に深部迄焼入し得るかを示せり。

以上の文献を綜合するに特殊成分の鋼の焼入に對する質量効果に就きては詳細なるもの無く、必要に應じ研究を要するもの如きもクロム・モリブデン・マンガン等は國產資源中焼入に對する質量効果相當良好なるものと考へて大なる誤にあらざる可し。

(ロ) 成分の選定と研究豫定 前項の考察に基きモリブデン鋼に就き研究せんとす、而して先づ珪素・モリブデン鋼、マンガン・モリブデン鋼、珪素・マンガン・モリブデン鋼、クロム・モリブデン鋼等に就き研究し、此内の最も優良なるものを選定したる後、更に其優良鋼の成分の相互關係を明瞭にし、最後に其の優良鋼に更に第四元素を添加し一層性質を改良し得るや否やを研究せんとす。

3. 研究方法

(イ) 機械的性質に關するもの 鋼材は大凡2種、即ち某會社に注文せるものと當所高周波電氣爐に依るものとの二種にして、前者は徑約 25 mm 、後者は徑約 16 mm の棒材なり。熱處理を要する試験片は上記棒材をその儘焼入焼戻後規定寸法に旋削し、熱膨脹試験片の如き熱處理の要無きものは焼鈍後の棒鋼より旋削せり。

試験は抗張、衝撃、疲勞、熱膨脹等にして其の試験片の寸法は熱膨脹試験片、徑 5 mm 、長さ 100 mm 、

抗張試験片 (i) 他所に注文せる鋼材に對しては、徑 14 mm 、標點距離 50 mm 、平行部 80 mm 、(ii) 自工場熔解の鋼材に對しては、徑 10 mm 標點距離 50 mm 平行部 70 mm 衝撃試験片、シャルピー型、アイゾット型疲勞試験片、ホワイト・サウサー型。(第2圖)

(ロ) 焼入に關する質量効果に關するもの 質量効果を檢する方法は大凡2種に之を區別し得べし。第一は冷却に依る Ar_{3-1} の遲滯を、第二は實物に就き之を研究するに在り。

¹²⁾ 特殊鋼の熱處理に就て、日本鐵鋼協會第4回研究部會に於て

¹³⁾ 特殊鋼材の二、三の性質に就て、鐵と鋼 昭和4年3月

⁷⁾ Oberhoffer: Das Technische Eisen. 各種元素の材料抗力に及ぶ影響

⁸⁾ 吉川博士: 鐵と鋼 大正14年12月、鋼の性質に及ぶ水鉛の影響

E. E. Thum: The Iron Age No. 2, Vol. 125, Jan. 1930. pp. 141-144. Molybdenum Steel gaining favour.

⁹⁾ Oberhoffer: Das Technische Eisen. p. 457.

¹⁰⁾ Han's Meyer: Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen E 21-2.

¹¹⁾ Karl Roesch: Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen 13-1.

(i) 冷却に依る Ar_{3-1} の遲滯 鋼の焼入に對する質量効果を知るの便法は冷却に際し Ar_{3-1} の發顯する溫度か幾何程度迄遲滯するやを測定するに在り。蓋し其の遲滯の大なるものは深部迄均等に焼入し得る可能性大なればなり。

本研究に於ては熱膨脹法を採用し徑 $5mm$ 、長さ $100mm$ の試片を石英管中に保ちたる儘之を石英管の外部より加熱したる後加熱を止め石英管の儘極めて急速に冷却し其の Ar_{3-1} の範圍を測定せり。尙冷却後の試験片の顯微鏡的組織並に硬度をも測定せり。

(ii) 肉厚大なる實物の研究 前項に依り焼入に對する質量効果は充分想像し得るも尙實物に就き之を實證するを最良とす。此處に於て必要に應じ肉厚大なる鋼材を作製し之を焼入焼戻後其の斷面に就き硬度の分布を測定し、表面部と中心部との硬度差を研究し尙ニッケル・クロム鋼に關する此種研究結果と比較考究する事とせり。

第2編 モリブデン鋼の豫備的研究

前編(2)研究方針の項に述べたるが如くモリブデン鋼はニッケル・クロム鋼代用となし得るが如きを以て先づ10種(第2表 $C_1 \sim SM_3$)のモリブデン鋼を選定し、某會社に委託し坩堝爐に熔製して之を徑約 $25mm$ の棒材に鍛造せり。其の量一種に就き約 $20kg$ とす。熔製鋼の分析結果第2表の如し。

第2表 試料分析値

符號	元素%						
	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S
C_1	0.38	0.27	0.54	0.76	0.29	0.015	0.018
C_2	0.36	0.26	0.49	1.04	0.29	0.015	0.018
C_3	0.38	0.25	0.56	1.50	0.29	0.011	0.015
S_1	0.39	0.96	0.59		0.28	0.016	0.019
S_2	0.28	1.20	0.57		0.14	0.019	0.020
M_1	0.33	0.21	0.90		0.25	0.017	0.021
M_2	0.40	0.23	1.47		0.28	0.016	0.018
SM_1	0.36	0.76	1.07		0.25	0.015	0.019
SM_2	0.37	0.83	1.55		0.27	0.017	0.018
SM_3	0.35	1.44	1.68		0.26	0.019	0.018

1. 機械的性質

(イ) 焼入溫度の決定

(i) 熱膨脹法に依る變態溫度の測定並に豫定焼入溫度

第3表 豫定焼入溫度

符號	C_1	C_2	C_3	S_1	S_2	M_1	M_2	SM_1	SM_2	SM_3
溫度 $^{\circ}C$	750	760	770	750	750	730	730	740	740	750
Ac ₁	810	810	810	840?	850?	800	790	830	820	840
豫定焼入溫度	820-860	820-860	820-860	850-890	850-890	820-860	800-840	850-890	840-890	850-890

(ii) 硬度並に顯微鏡的組織測定法に依る焼入溫度の決定 ($10 \times 10 \times 15mm$ 程度の小片を前項豫定焼入溫度中

の某溫度に30分間保持せし後油中冷却せるものにつきヴィッカーズ硬度計にて硬度を測定し之を $10mm$ 鋼球に依り測定せるブリネル硬度に換算せるものは第4表の如し。(以下特に記せざる限り硬度の測定は本法に依るものとす)但し數字は測定8回の平均値とす。

同試験片につき顯微鏡的組織をも檢せり、但しFはフェライト、Mはマルテンサイト、Aはオーステナイト、Tはツルースタイトを示す。此の表に於て最大硬度を與ふる溫度即ちマルテンサイト組織を與ふる溫度を焼入溫度と決定す可きを以て次項(iii)の如く決定せり。

第4表 檢測焼入溫度

符號	燒入溫度 $^{\circ}C$	ブリネル硬度	顯微鏡組織	符號	燒入溫度 $^{\circ}C$	ブリネル硬度	顯微鏡組織
C_1	820	485	F(少量)+M	M_1	820	510	M
	840	495	M		840	505	M
	860	500	M		860	505	M
C_2	820	495	F(少量)+M	M_2	800	590	M
	840	500	M		820	550	M A?
	860	500	M		840	550	M A?
C_3	820	510	M	SM_1	850	520	M
	840	530	M		870	510	M A?
	860	540	M		890	510	M A?
S_1	850	485	F(少量)+M	SM_2	840	550	M
	870	505	F(極限)+M		860	520	M A?
	890	505	M		890	530	M A?
S_2	850	360	F(多量)+M	SM_3	850	515	F(極限)+M
	870	400	F+M		870	550	M
	890	400	F(極少量)+M		890	535	M A?
	910	470	M				
	940	480	M				

(iii) 決定せる焼入溫度

符號	燒入溫度 $^{\circ}C$	符號	燒入溫度 $^{\circ}C$	符號	燒入溫度 $^{\circ}C$
C_1	840~850	S_2	910~920	SM_1	850~860
C_2	840~850	M_1	820~830	SM_2	840~850
C_3	830~840	M_2	810~802	SM_3	870~880
S_1	890~900				

(ロ) 焼戻溫度と機械的性質との關係

前項にて決定し得たる焼入溫度にて焼入施行後之を各種の溫度に焼戻しせる場合の機械的性質次の如し。但し衝撃及び疲勞試片寸法は第2圖に示す。

a) クロム・モリブデン鋼 C_1 此の鋼の試験數値を圖示せるものは第3圖の如し、其外觀測せる材力斷面收縮及疲勞限界は第5表に示す如くにして以下 b)~j) に於ても本項 a) と同様に第4~12圖の外斷面收縮及疲勞限界を測定し之れを一括して第5表に掲げたり。

圖中横軸に於ける縦の二條の點線 a, b の範圍内にて焼戻しせば規格に合格せしめ得べく本鋼は所期の目的に適したる鋼と云ひ得べし。

本鋼に焼戻脆性無きはシャルピー及アイゾット兩衝撃試験に於ける油中冷却及爐中冷却兩處理の間に衝撃値の大差無きより容易に知り得べし。疲勞限界も標準ニッケル・ク

ロム鋼に比し優るとも劣らざる事を知る。

b) クロム・モリブデン鋼 C_2 試験数値を圖示せるもの第4圖の如し。

圖中横軸上 ab の範圍内にて焼戻しせば規格に合格せしめ得べし。

本鋼にも焼戻脆性無く甚だ優秀なる鋼材にして所期の目的に合致せるものなるを知る。其疲勞限界は寧ろ標準ニッケル・クロム鋼よりも高きを知るなり。

c) クロム・モリブデン鋼 C_3 試験数値を圖示せるものは第5圖の如し。

圖中の横軸 ab 範圍にて焼戻しせば規格に合格せしめ得べし。本鋼に於ても殆ど焼戻脆性無く優秀鋼材なるを知る。但し幾分焼戻の範圍狭きに失する惧無しとせず。動もすれば焼割を生ずる傾向あり。クロム・モリブデン鋼中本鋼は幾分處理困難なるが如く従て熱處理の觀點よりせばクロムは可及的 1.5% 以下に保つ要あるものの如し。疲勞限界は標準ニッケル・クロム鋼に比し優るとも劣らず。

d) 珪素モリブデン鋼 S_1 試験数値を圖示せるものは第6圖の如し。本鋼には規格に合格する範圍無きが如し。

e) 珪素モリブデン鋼 S_2 試験数値を圖示せるものは

第7圖の如し。本鋼にも規格に合格の範圍無きが如し。

f) マンガン・モリブデン鋼 M_1 試験数値を圖示せるものは第8圖の如し。

本鋼には極めて狭き範圍にて規格に合格するものあるものゝ如し。蓋し此の事實は最近の文献¹⁴⁾とよく一致す。本鋼にも焼戻脆性殆ど無く場合に依りてはニッケル・クロム鋼の代用として使用し得べし。

g) マンガン・モリブデン鋼 M_2 試験数値を圖示せるものは第9圖の如し。

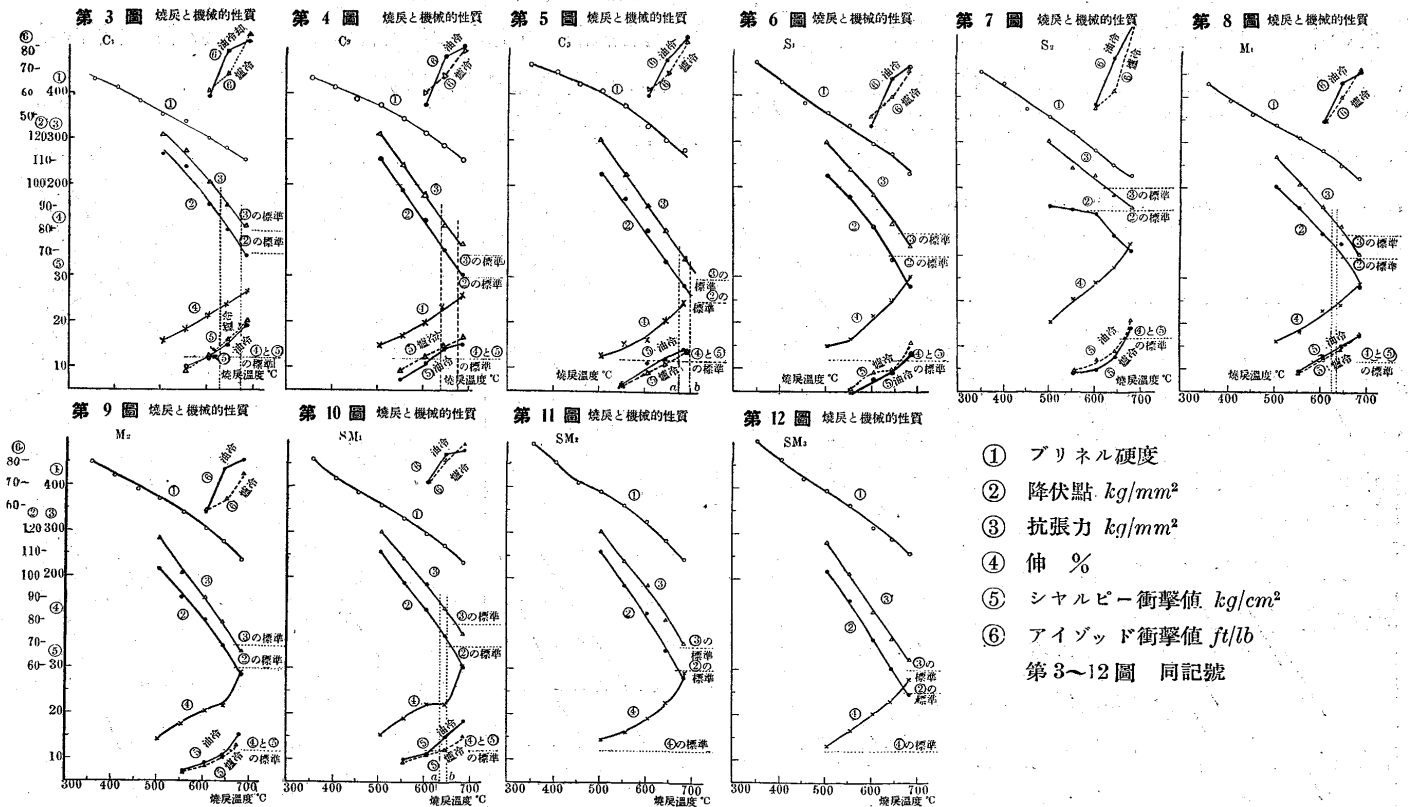
本鋼には規格に合格の範圍無きにあらざれど、極めて狭き範圍にして實用價值少なきものと考へらる。

h) 珪素マンガン・モリブデン鋼 SM_1 試験数値を圖示せるものは第10圖の如し。

本鋼には規格に合格の範圍あり。但し幾分焼戻脆性の惧あり、疲勞限界は標準ニッケル・クロム鋼と略々同等なり。場合に依りては $Ni \cdot Cr$ 鋼代用として使用し得べし。

i) 珪素マンガン・モリブデン鋼 SM_2 試験数値を圖示せるものは第11圖の如し。

本鋼には規格に合格の範圍無きを知る。



¹⁴⁾ G. Burns (Woolwich) The effect of Molybdenum on Medium Carbon Steels Containing 1 to 2.5% of Manganese. The Jour. of the Iron and Steel Inst. II. 1931.

第 5 表 断面収縮並疲労限界に及ぼす焼戻温度の影響

測定項目	鋼種 符號	焼戻温度°C					測定項目	鋼種 符號	焼戻温度°C				
		505	555	605	645	685			505	555	605	645	685
断面収縮 %	C ₁	49.0	51.0	60.5	62.2	67.4	断面収縮 %	M ₁	51.0	54.8	60.5	63.2	64.8
疲労限界 kg/mm ²		31.1	焼戻温度 620°C 油中冷却				疲労限界 kg/mm ²		28.6	焼戻温度 625°C 油中冷却			
断面収縮 %	C ₂	46.0	54.0	60.5	64.8	66.6	断面収縮 %	M ₂	42.7	47.0	54.0	57.0	62.2
疲労限界 kg/mm ²		34.5	C ₁ と同断				疲労限界 kg/mm ²		32.3	焼戻温度 625°C 油中冷却			
断面収縮 %	C ₃	38.3	43.8	48.0	57.6	62.3	断面収縮 %	SM ₁	44.0	50.8	53.8	55.8	65.0
疲労限界 kg/mm ²		34.5	焼戻温度 655°C 油中冷却				疲労限界 kg/mm ²		31.1	M ₂ と同断			
断面収縮 %	S ₁	37.3	42.7	53.0	60.5	62.2	断面収縮 %	SM ₂	38.3	40.6	43.8	53.0	58.0
断面収縮 %	S ₂	38.3	48.0	54.8	60.5	66.6	断面収縮 %	SM ₃	36.4	43.2	46.0	53.0	55.5

j) 珪素マンガ・モリブデン鋼 SM₃ 試験數値を圖示せのものは第 12 圖の如し。

本鋼には規格に合格の範圍無きを知る。

(ハ) 小 括

以上機械的試験の結果を綜合するに標準ニッケル・クロム鋼と匹敵するものは次の 5 種なるを知れり。

- C₁ C 0.38, Cr 0.76, Mo 0.29
- C₂ C 0.36, Cr 1.04, Mo 0.29
- C₃ C 0.38, Cr 1.50, Mo 0.29
- M₁ C 0.33, Mn 0.90, Mo 0.25
- SM₁ C 0.36, Si 0.76, Mn 1.07, Mo 0.25

此の中 C₃ は幾分焼割の惧あり。M₁, SM₁ は幾分軟質の惧あり。最良と考へられるものは C₁ 及 C₂ なり。C₁

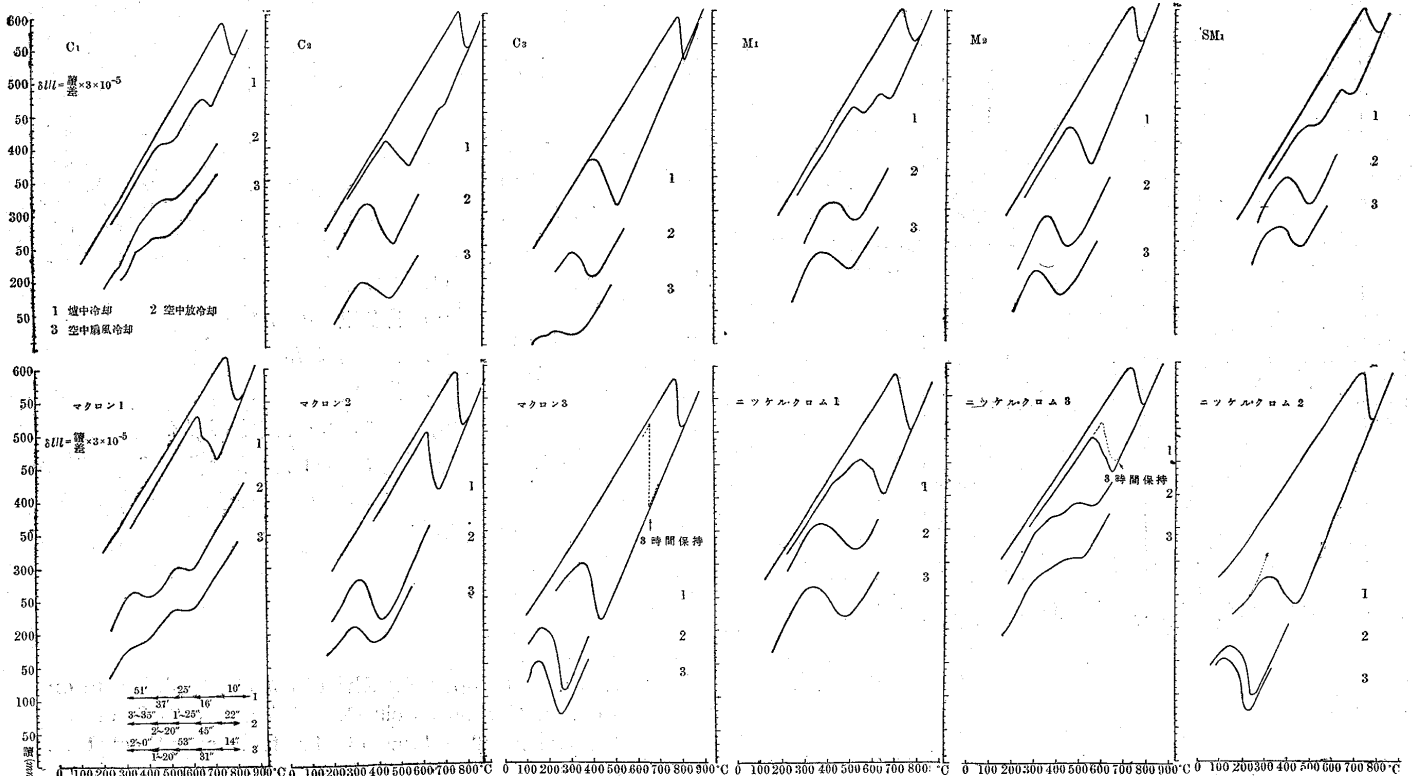
は軟質にして C₂ は強靱なり。兎も角 C₁ 及 C₂ 即ち C 0.38% Cr 0.8~1.3%, Mo 0.3% の成分を有するものは標準ニッケル・クロム鋼と比較し何等の遜色無く代用鋼と云はんよりは、寧ろ之より優れたる鋼材なるを知り得たり。

2. 焼入に對する質量效果

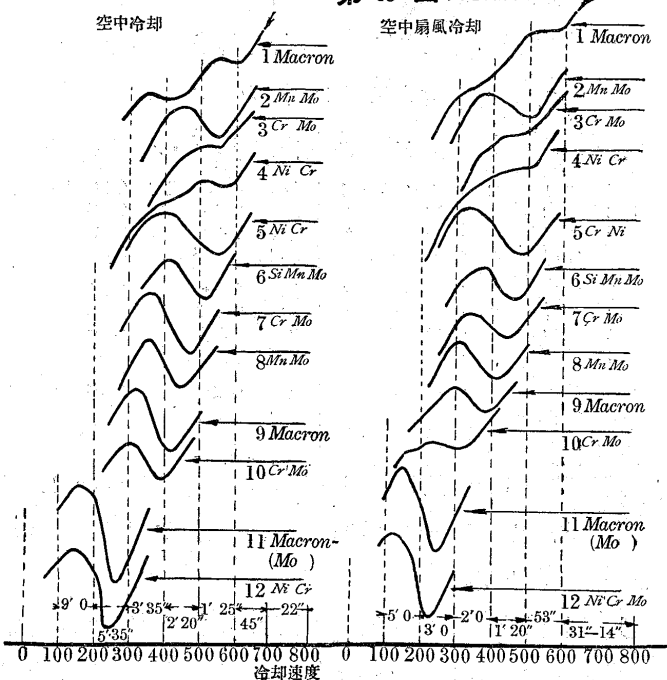
(イ) 冷却に依る Ar₃₋₁ の遲滯顯微鏡的組織及硬度鋼種は第 5 表に掲げたる 12 種にして觀測の結果冷却曲線は第 13 圖の如し。第 14 圖は 850°C より石英管を空中にて、第 15 圖は 850°C より空氣中扇風機にて風を吹きつけ急速に冷却せる場合の曲線なり。

今扇風機にて冷却せる場合の Ar₃₋₁、其の際の試片の組織、硬度等を第 6 表に示す。

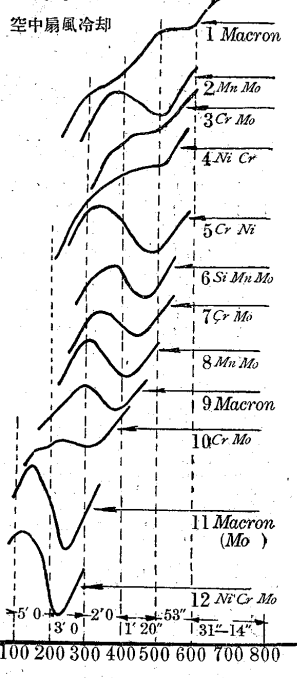
第 13 圖 變態點降下曲線



第14圖 變態點降下曲線



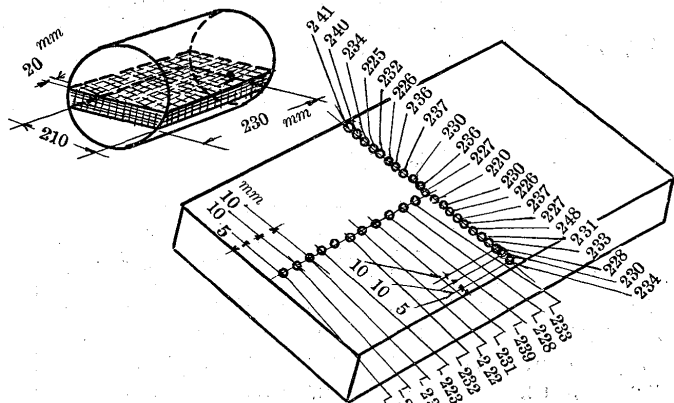
第15圖 變態點降下曲線



第6表 質量效果

番號	鋼種記號	成分%					Ar ₃₋₁ °C	組織	ブリネル 硬度
		C	Mo	Cr	Mn	Ni			
(1)	Macron 1	0.27	—	0.72	1.33	—	590—510—280	F+M+T	244
(2)	M ₁ (Mn-Mo) ₁	0.33	0.25	—	0.90	—	510—380	F+T+M (少量)	229
(3)	C ₁ (Cr-Mo) ₁	0.38	0.29	0.78	—	—	500—430—360	F+M+T (少量)	224
(4)	Ni-Cr 3	0.34	—	0.47	—	3.62	520—430—280	F+M (少量)	302
(5)	Ni-Cr 1	0.19	—	0.51	—	2.73	480—340	F+M+T	242
(6)	SM ₁ (Si-Mn-Mo) ₁	0.36	0.25	—	1.07	—	470—380	F+M (少量)	246
(7)	C ₂ (Cr-Mo) ₂	0.36	0.29	1.04	—	—	470—350	F+M+T	318
(8)	M ₂ (Mn-Mo) ₂	0.40	0.28	—	1.47	—	420—310	M+T	310
(9)	Macron 2	0.35	—	1.21	1.33	—	386—300	M+T	406
(10)	C ₃ (Cr-Mo) ₃	0.38	0.29	1.50	—	—	330—220	M+T (極輕微に戻さる)	470
(11)	Macron 3	0.31	0.28	1.34	1.69	—	250—150	M (極輕微に戻さる)	490
(12)	Ni-Cr 2	0.35	0.21	0.75	—	3.40	220—120	M	492

第16圖 Cr-Mo 鋼熱處理後のブリネル硬度 C 0.37
Cr 1.27 Mo 0.35% 熱處理 850°C 5時間油冷
650°C — 空中放冷



本表より見るにニッケル・クロム鋼又はマンガ・クロム鋼と雖も成分に依りてはAr₃₋₁の遲滯する事極めて少なきを知り得べくクロム・モリブデン鋼に於てはクロムの量1.5%附近となれば遲滯する事極めて大にしてニッケル・クロム或はマンガ・クロム鋼の何れの成分のものに比するも劣らざる程度の遲滯をなすを知る。唯ニッケル・クロム・モリブデン或はマンガ・クロム・モリブデン鋼に比せば幾分その遲滯する事少なきを知る。

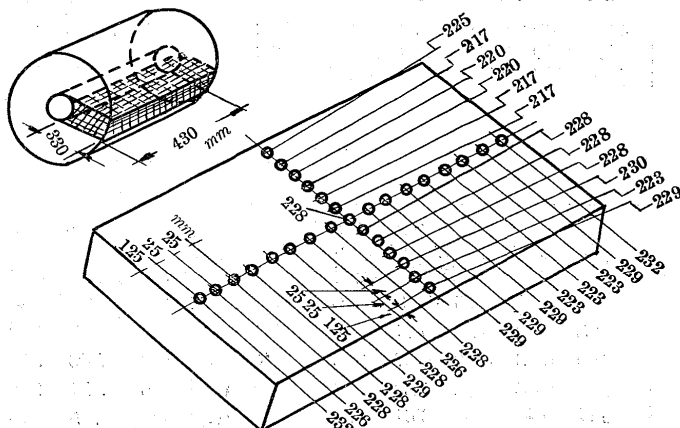
以上の事實より推察するにクロム・モリブデン鋼はクロムの量1.2%程度ものを選ぶ時は普通のニッケル・クロム鋼或はマンガ・クロム鋼と同程度或はそれ以上の焼入に對する質量效果を示すを知るなり。

(ロ) 肉厚大なる鋼材の焼入試験 前項に依りクロム・モリブデン鋼の焼入に對する質量效果の良好なるを推測し得たりと雖も未だ單なる推測に留まり果して肉厚大なる場合に深部迄焼入し得るや否や不明なるを以て某製鋼所に委

託し、電氣爐にて熔製せる徑210mm高さ240mmの鋼片につき焼入焼戻を行ひ、其の内部に於ける硬度の分布を研究せるものは第16圖の如くにして参考の爲め吉川博士¹⁵⁾の標準ニッケル・クロム鋼に關する同様の研究を同圖中に再録せり。

(第16圖)

Ni-Cr 鋼熱處理後のブリネル硬度 C 0.28
Ni 3.39 Cr 0.71% 熱處理 850°C 6時間油冷
600°C 6.5時間油冷
(吉川博士 鐵と鋼 第17年 第3號 第310頁)



¹⁵⁾ 特殊鋼の熱處理に就て、前出。

兩圖を比較する時はクロム・モリブデン鋼に於ては焼戻温度をニッケル・クロム鋼より 50°C 高く採れるに拘らずニッケル・クロム鋼と略々同一の硬度を均等に保有し居るを知る可く從てクロム・モリブデン鋼が此程度の肉厚に對しては少くともニッケル・クロム鋼と同様或はそれ以上の深部焼入効果あるを實證し得たり。

第3編 單純クロム・モリブデン鋼 該鋼に許容し得る炭素、クロム・モリブデンの範圍決定

第2編に於て述べしが如くクロム・モリブデン鋼中ニッケル・クロム鋼に匹敵するものは C 0.38%, Cr 0.8~1.3%, Mo 0.3% なるを知れり、然れども此結果は炭素及モリブデン量を一定としてクロム量を 0.8~1.5% の範圍に變化せしめし時のものなり。從て炭素及モリブデンの變化せし時の影響未だ不明なり。此點に就き研究の結果を以下に述べべし。

試験材は當所に於て高周波電氣爐に依り熔解し 2kg の鑄塊となし之を壓延して徑 16mm の棒材とせり。熔製せる鋼の成分第7表の如し。但し成分中炭素のみは熔融毎に相當の變化あるを以て分析結果に依る事とし、其他の成分は配合と大差無き (例 No. 108 は分析結果 Cr 1.29%

Mo 0.19%, Mn 0.38%, Si 0.24%, P 0.018%, S 0.040%) を確めたるを以て毎回の分析を省略せり。

第7表 試料成分

番號	C分析結果	Cr	Mo	Mn	Si	番號	C分析結果	Cr	Mo	Mn	Si
107	0.41	1.2	0.15	0.4	0.15	119	0.27	1.2	0.30	0.4	0.15
108	0.42	"	0.20	"	"	120	0.24	"	0.60	"	"
109	0.43	"	0.30	"	"	121	0.49	"	0.90	"	"
110	0.44	"	0.60	"	"	122	0.376	"	0.30	"	"
111	0.46	"	0.90	"	"	123	0.39	"	0.60	"	"
112	0.51	"	0.30	"	"	124	0.395	"	0.90	"	"
114	0.46	"	0.60	"	"	125	0.31	"	0.30	"	"
115	0.49	"	0.60	"	"	126	0.24	"	0.60	"	"
116	0.40	"	0.90	"	"	127	0.33	"	0.90	"	"
117	0.49	"	"	"	"	129	0.45	"	—	"	"
118	0.46	"	0.30	"	"						

燐及硫黄は各番號共 P 0.02, S 0.04 程度なるべし。蓋し鐵原料としてアームコ鐵を用ゐたるを以て此程度に留め得たるものとす。

1. 機械的性質 抗張試験片の直徑は 10mm, 標點距離 50mm, 焼入は 850~860°C に1時間加熱後油中冷却、焼戻は抗張試験片に在りては 600~610°C 並に 650~660°C の2種、衝擊試験片に在りては 600~610°C, 620~630°C, 650~660°C の3種とを何れも1時間加熱油中冷却せり。試験の結果第8~10表の如し。抗張試験衝擊試験は2回の平均値を、ブリネル硬度は6回の平均値なり。但し*印は1回の試験値とす。

第8表 Cr 1.2% 鋼に及す C 及 Mo の影響 焼戻 600~610°C

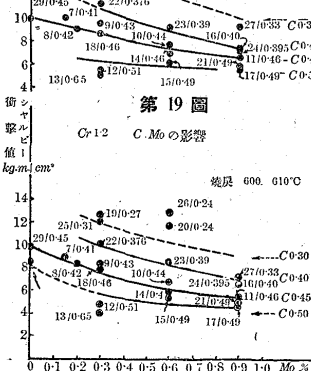
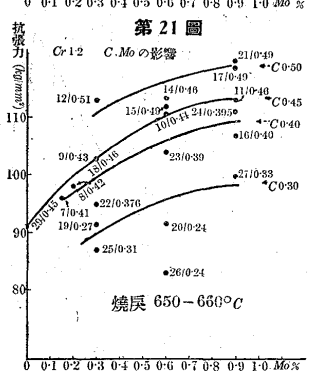
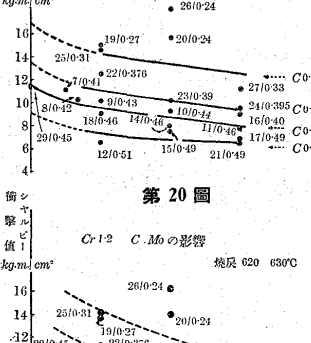
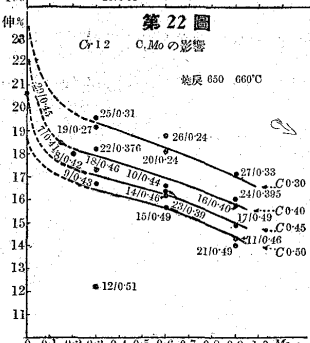
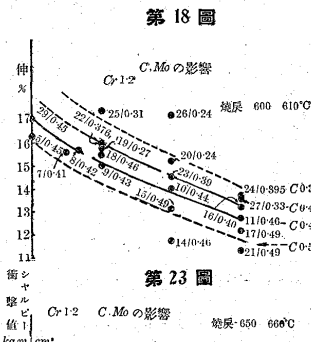
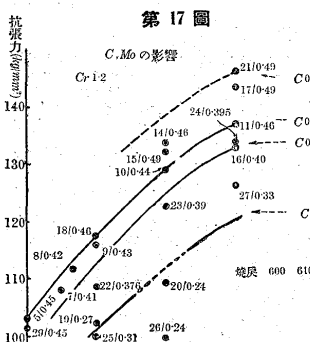
番號	成分		弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 收縮 %	シャルピ ー衝擊値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度	番號	成分		弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 收縮 %	シャルピ ー衝擊値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度
	Cr 1.2% C%	Mo%								Cr 1.2% C%	Mo%						
107	0.41	0.15	99.5	108.3	15.6	55.7	8.93	315	119	0.27	0.30	93.7	102.2	15.8	62.2	12.65	305
108	0.42	0.20	99.5	111.6	15.7	55.0	8.30	315	120	0.24	0.60	103.5	109.2	15.2	60.9	11.63	323
109	0.43	0.30	111.0	115.9	15.0	55.0	8.42	325	121	0.49	0.90	140.0	146.5	11.3	42.8	4.89	410
110	0.44	0.60	122.5	129.3	14.0	51.0	6.70	360	122	0.376	0.30	98.0*	108.9*	16.0*	57.7*	10.04	314
111	0.46	0.90	132.5	137.6	12.7	47.4	5.51	388	123	0.39	0.60	115.0	123.6	14.5	55.0	8.50	355
112	0.51	0.30	—	—	—	—	4.76	366	124	0.395	0.90	128.2	134.1	13.7	51.7	6.61	388
114	0.46	0.60	126.0	133.8	11.7	39.8	5.91	382	125	0.31	0.30	90.5	100.0	17.4	60.3	11.96	293
115	0.49	0.60	127.0	132.2	13.1	45.9	5.41	375	126	0.24	0.60	95.5	99.6	17.2	60.3	12.78	304
116	0.40	0.90	125.0	133.2	13.2	51.0	6.52	380	127	0.33	0.90	125.2	126.7	13.6	49.6	7.17	370
117	0.49	0.90	138.2	143.6	12.2	43.0	4.73	410	129	0.45	—	92.0	101.9	17.1	54.3	9.83	300
118	0.46	0.30	108.5	117.6	15.5	52.4	7.75	334									

第9表 Cr 1.2% 鋼に及ぼす C 及 Mo の影響 焼戻温度 620~630°C

番號	成分		シャル ビー衝 撃値	ブリ ネル 硬度	番號	成分		シャル ビー衝 撃値	ブリ ネル 硬度	番號	成分		シャル ビー衝 撃値	ブリ ネル 硬度	番號	成分		シャル ビー衝 撃値	ブリ ネル 硬度
	C	Mo				C	Mo				C	Mo				C	Mo		
107	0.41	0.15	10.03	300	114	0.46	0.60	6.96	360	119	0.27	0.30	13.70	292	124	0.395	0.90	7.25	365
108	0.42	0.20	9.11	310	115	0.49	0.60	6.33	360	120	0.24	0.60	14.03	300	125	0.31	0.30	14.15	283
109	0.43	0.30	9.57	315	116	0.40	0.90	7.40	355	121	0.49	0.90	5.64	375	126	0.24	0.60	16.23	273
110	0.44	0.60	7.83	345	117	0.49	0.90	5.51	385	122	0.376	0.30	11.31	305	127	0.33	0.90	9.33	320
111	0.46	0.90	6.61	365	118	0.46	0.30	8.65	318	123	0.39	0.60	9.26	335	129	0.45	—	9.99	285
112	0.51	0.30	5.44	355															

第 10 表 Cr 1.2% 鋼に及す C 及 Mo の影響 焼戻 650~660°C

番 號	成 分		弾性界 kgf/mm ²	抗張力 kgf/mm ²	伸 %	断面 收縮 %	シャルピ ー衝擊値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度	番 號	成 分		弾性界 kgf/mm ²	抗張力 kgf/mm ²	伸 %	断面 收縮 %	シャルピ ー衝擊値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度
	C %	Mo %								C %	Mo %						
107	0.41	0.15	85.2	96.2	18.6	59.6	11.15	276	119	0.27	0.30	80.0	91.7	19.2	65.8	15.05	274
108	0.42	0.20	89.5*	98.1*	18.0*	61.6*	10.35	293	120	0.24	0.60	85.5	91.5	18.1	68.1	15.64	278
109	0.43	0.30	94.5	102.8	16.7	56.4	10.19	298	121	0.49	0.90	117.0*	121.7*	14.0*	49.6*	6.61	352
110	0.44	0.60	102.0	110.6	16.6	57.0	9.26	316	122	0.376	0.30	86.0	94.9	18.2	63.4	12.61	283
111	0.46	0.90	106.5	112.8	14.3	53.7	7.97	335	123	0.39	0.60	95.5	104.5	16.4	57.0	10.19	305
112	0.51	0.30	104.5	113.4*	12.2*	35.9*	6.61	330	124	0.395	0.90	102.0	111.4	16.0	55.7	9.49	330
114	0.46	0.60	104.5*	113.4*	16.2*	53.8*	7.90	337	125	0.31	0.30	78.0	87.5	19.6	64.0	14.70	255
115	0.49	0.60	104.5	112.1	15.7	53.7	7.64	325	126	0.24	0.60	72.7	81.8	19.8	69.2	18.11	256
116	0.40	0.90	98.5	107.6	15.7	53.3	8.95	320	127	0.33	0.90	92.0	100.0	17.1	60.3	11.23	300
117	0.49	0.90	111.0	117.4	14.9	53.7	7.03	337	129	0.45	—	79.0	91.4	20.7	61.5	11.50	275
118	0.46	0.30	95.5	102.5	17.3	57.7	9.13	305									



第8~10表を曲線とせしものは第17~23圖の如し。曲線中各點に對しての記入(例へば 7/0.41)の分子は試料番號、分母は炭素量とす、尙番號は便宜上 100 を省きたり、例へば 107 を 7 と示すが如し、是等の曲線より考ふるに本試験即ち高周波電氣爐に依り得られる鋼材の性質は必ずしも第2編の坩堝爐鋼材のものとは一致せず、その主要なる原因は兩者の抗張試験片の寸法の異なる事と鑄解爐の異なる事

等に在る可し。然れども本試験に依るもの、相互の關係は之を求め得べし。

今焼戻 650~660°C の場合の抗張力、伸、衝擊値を示しある第 21, 22, 23 圖を比較考究せば次の如く推論し得べし。

イ) Cr 1.2% 鋼に炭素並にモリブデンを添加し次第に其の添加量を増加せば抗張力増加し伸及衝擊値減少す。

ロ) 抗張力の増大量、或は伸及衝擊値の減少量は炭素の増大量、或はモリブデンの増大量、或は又兩者二つながらの増大量と略々定まれる關係を有し、連続曲線を以て示し得るものにして其の間、極大、或は極小を示す事なし。

ハ) 即ち抗張力の増大は必然的に伸及衝擊値の減少を意味するものにして、抗張力、伸、衝擊値三者の同時に増加するが如き事無きは鋼に對する一般他元素の影響と同様にモリブデンなるが故に特に異なる現象を示す事なし。唯抗張力の増大に比し伸、衝擊値等の減少する事が他元素に比し稍々小なる利點を有するなり。従て炭素或はモリブデンの添加量の限界は伸及衝擊値の餘りに低下せざる範圍に限定するの他なし。

ニ) 今 650~660°C 焼戻の際の抗張力を 90 kgf/mm² 以上、衝擊値を 12 kgM/cm² 以上と限定せば Cr 1.2% の場合炭素量は 0.3~0.4% となり、之に相當してモリブデンの範圍は次の如くなる可し。

C%	0.3	0.35	0.4
Mo%	0.3~0.9	0.2~0.4	0.1~0.15
Cr%	1.2	1.2	1.2

表示しある以外の炭素量の場合は第 21~23 圖に依り決定し得べし。

ホ) 特殊の高價金屬なるモリブデンを過度に使用するは經濟的ならざるを以て自ら炭素の限界も 0.3% よりは 0.35% に近く選定せらる可し。

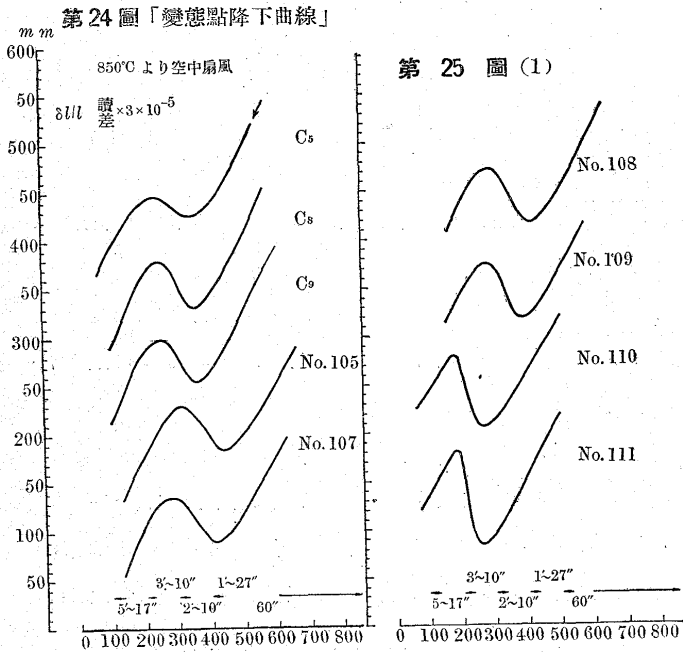
2. 焼入に對する質量效果 冷却に依る Ar₃₋₁ の遲滯、

其の際の顯微鏡的組織及硬度の測定に依る方法を以て、クロム・モリブデン鋼に於ける炭素、クロム・モリブデンの相互が焼入に對する質量效果に及す影響を研究せる結果は第 24 及 25 圖の如し而して其の Ar₃₋₁ 及冷却後の試験片の組織及硬度を表示せば第 11 表の如し、

第 11 表 質量效果

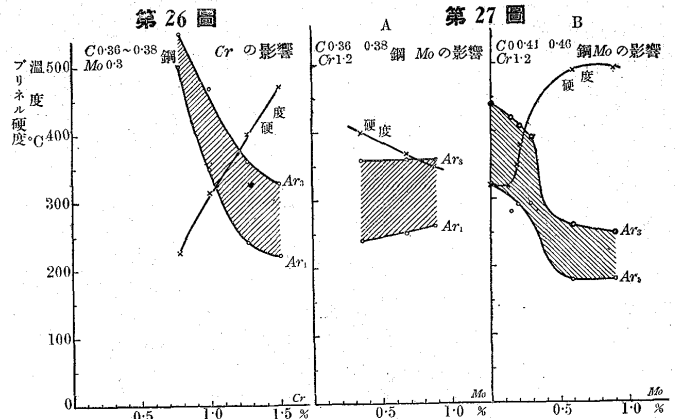
番號	成分%			Ar ₃₋₁ °C	顯微鏡的組織	ブリネル硬度	
	Cr	Mo	C				
C ₁	クロムの影響	0.78	0.29	0.38	550~500	F+M+T(少量)	224
C ₂		1.04	0.29	0.36	470~350	F+M+T	318
C ₅		1.27	0.35	0.37	360~240	T+M(少量)	400
C ₈		1.50	0.29	0.38	330~220	M+T(極微量)	470
C ₅	モリブデンの影響	1.27	0.35	0.37	360~240	T+M(少量)	400
C ₈		1.18	0.68	0.38	360~250	T+M(少量)	366
C ₉		1.19	0.89	0.36	360~230	T+M(少量)	354
105		1.2	—	0.45	440~320	F(少量)+M(微量)+T(大部分)	320
107		1.2	0.15	0.41	420~280	F(微)+M(少)+T(大部分)	318
108		1.2	0.2	0.42	410~290	F(微)+T+M	348
109		1.27	0.35	0.436	390~290	M+T	374
110		1.2	0.6	0.44	260~180	M+T	494
111		1.2	0.9	0.46	250~180	M+T	488

ロ) モリブデンも質量效果に好影響を與ふ、然れども其の量 0.4% 程度に於て既に充分の效果を示す、それ以上増大するも效果の増進する事比較的輕量なり。故に質量效

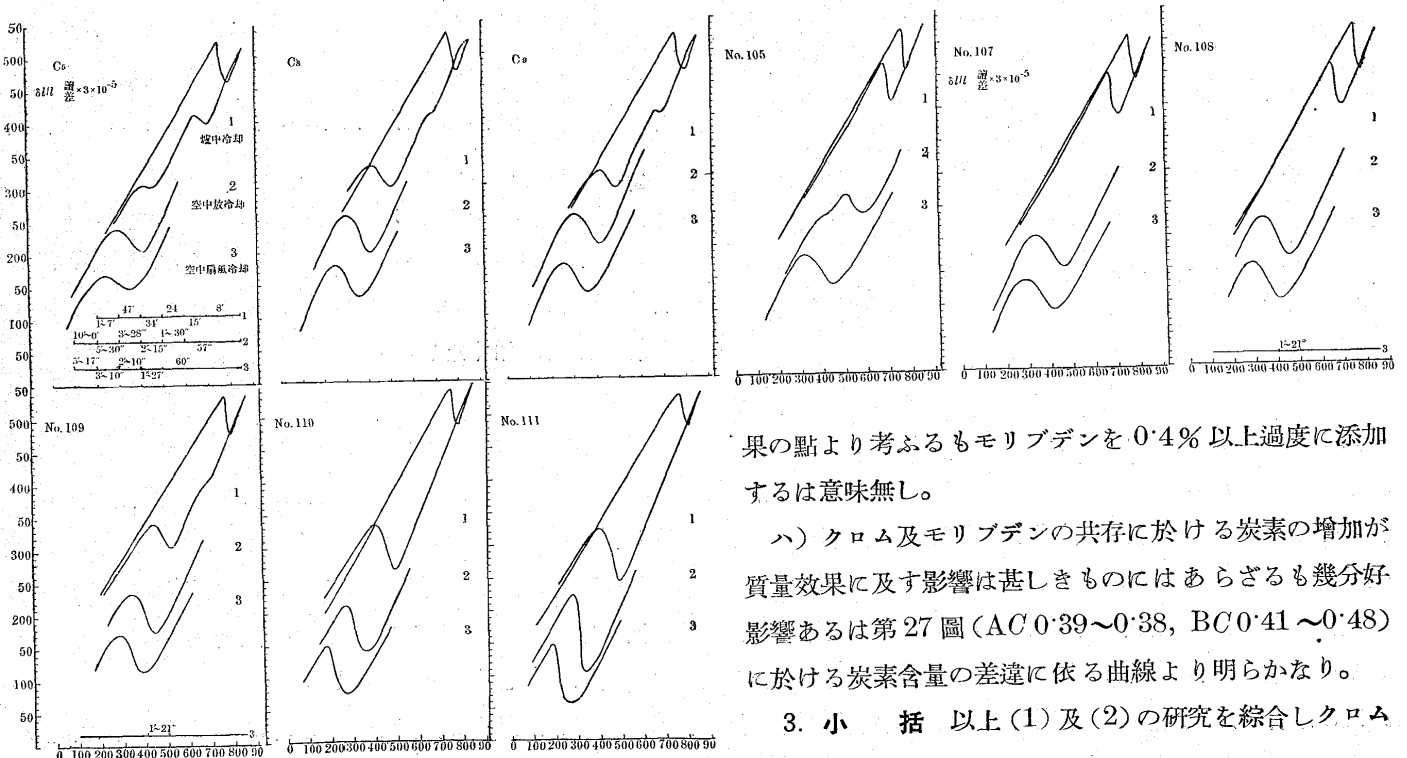


本表を曲線とせば第 26 圖及第 27 圖の如し。同圖より次の如く考へらる。

イ) クロムの増加は質量效果に好影響を與ふるものにしてクロム含量の増加する程好都合なり。



第 25 圖 (2)



果の點より考ふるもモリブデンを 0.4% 以上過度に添加するは意味無し。

ハ) クロム及モリブデンの共存に於ける炭素の増加が質量效果に及す影響は甚しきものにはあらざるも幾分好影響あるは第 27 圖 (AC 0.39~0.38, BC 0.41~0.48) に於ける炭素含量の差違に依る曲線より明らかなり。

3. 小 括 以上 (1) 及 (2) の研究を綜合シクロム

・モリブデン鋼に於ける炭素、クロム・モリブデン三者の關係次の如し。

イ) 炭素は機械的性質より考ふるも、又質量効果より考ふるも 0.3% 程度よりは 0.35% 程度を可とす。

ロ) クロムは焼入に際しての焼割を防止し得る限り其の含量を増加するを可とす。即ち機械的性質も質量効果も共に改善せらるゝが故なり。

ハ) モリブデンは質量効果より考ふるも又機械的性質より考ふるも又經濟的見地よりするも 0.3~0.4% にて充分の如し。

ニ) 以上の如く考慮せば理想的クロム・モリブデン鋼の一組成は次の如くなる可し。

C 0.33~0.35%, Cr 1.1~1.4%

Mo 0.3~0.4%, Mn 0.5~0.8%

但しマンガンを特に記入し、而も其の上限を比較的大ならしめし理由はマンガンの焼入に對する質量効果を期待せんとするものなり。(第4編(3)小括参照)

第4編 複合クロム・モリブデン鋼 クロム・モリブデン鋼に及す 他元素の影響

第3編にて判明せる單純クロム・モリブデン鋼に更に他元素例へばニッケル・バナヂウム、銅等を添加せば如何なる現象を呈す可きか、但し他元素としては國產資源と限定する事無く、凡そ現在に於て工業的に考慮し得べきものを

可及的廣く試みる事とせり。蓋しニッケル・クロム鋼の代用としてはクロム・モリブデン鋼にて充分なりと考へ得るも、更に之に他元素を添加する事に依り現存の鋼よりも遙かに優秀なる鋼を得らるるや否やを知らんとすればなり。

即ち第12表の如き成分を與へたり。

第12表 試料成分

番號	成分%					
	C	他元素	Cr	Mo	Mn	Si
201	0.36	Ni 1	1.2	0.3	0.4	0.15
202	0.35	Ni 2	"	"	"	"
203	0.34	Ni 3	"	"	"	"
204	0.29	V 0.2	"	"	"	"
205	0.30	V 0.4	"	"	"	"
206	0.29	V 0.6	"	"	"	"
207	0.32	W 0.5	"	"	"	"
210	0.28	W 1.0	"	"	"	"
212	0.32	Mn 0.63	"	"	—	"
215	0.31	Cu 3	"	"	0.4	"
216	0.29	Cu 1	"	"	"	"
220	0.305	Al 2	"	"	"	"
222	0.29	Si 1	"	"	"	"

同表中炭素は分析結果にして他は配合値なり。磷及硫黄含量は第3編のものと同じ。蓋し其の鑄製方法が第3編のものと同じく高周波電氣爐に依り鐵原料も同一物を使用したればなり。

1. 機械的性質 抗張試験片の直径は 10mm, 標點距離 50mm, 焼入は 850~860°C 1 時間加熱油中冷却し、焼戻は 600~610°C, 650~660°C, 680~690°C の3種とし、何れも 1 時間加熱油中冷却せり。試験の結果は第 13~15 表の如し、抗張試験、衝撃試験は 2 回の平均値ブリネル硬度は 6 回の平均値なり。*印は 1 回試験値とす。

第13表 C 0.3~0.35%, Cr 1.2%, Mo 0.3% 鋼に及す他元素の影響 焼戻 600~610°C

番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度	番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度
201	Ni 1	98.5	107.5	15.5	59.5	9.95	320	210	W 1.0	92.7	100.7	16.1	60.0	11.02	320
202	Ni 2	97.0	107.0	15.7	57.5	10.25	320	212	Mn 0.63	94.0	103.0	16.3	62.0	13.28	306
203	Ni 3	94.0	104.5	17.0	58.7	10.10	310	215	Cu 3	101.6	107.6	15.9	52.4	7.61	323
204	V 0.2	89.0*	99.0*	16.2*	60.0*	8.77	295	216	Cu 1	83.4	91.7	19.6	63.4	11.10	273
205	V 0.4	89.0	96.9	15.7	57.0	8.17	304	220	Al 2	74.6	87.1	18.0	57.1	11.31	257
206	V 0.6	85.0	94.2	15.7	58.2	8.21	288	222	Si 1.02	77.1	91.3	19.9	59.7	12.39	268
207	W 0.5	99.0	107.5	15.3	58.2	9.50	331	224	Si 3.12	115.8	130.1	14.0	35.0	2.45	378

第14表 C 0.3~0.35%, Cr 1.2%, Mo 0.3% の鋼に及す他元素の影響 焼戻 650~660°C

番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度	番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸%	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度
201	Ni 1	84.0	95.7	19.3	62.2	10.30	305	210	W 1.0	78.3	88.2	18.5	62.7	10.35	313
202	Ni 2	85.7	96.2	18.7	64.0	10.65	317	212	Mn 0.63	80.3	92.0	19.8	68.1	14.02	301
203	Ni 3	84.5	96.0	19.6	62.7	9.90	304	215	Cu 3	93.4	98.6	18.7	59.0	9.29	297
204	V 0.2	89.0	96.5	15.6	58.8	8.96	294	216	Cu 1	75.2	83.9	20.0	65.8	13.31	250
205	V 0.4	84.7	94.0	16.0	58.2	8.05	302	220	Al 2	71.8	83.5	20.8	60.3	12.45	240
206	V 0.6	77.0	87.0	15.2	58.7	8.17	272	222	Si 1.02	67.7	83.4	22.2	63.7	14.62	242
207	W 0.5	83.5	93.0	17.3	93.0	10.25	319	224	Si 3.12	106.2	121.8	17.8	39.4	1.96	334

第 15 表 C 0.3~0.35%, Cr 1.2%, Mo 0.3% 鋼に及す他元素の影響 焼戻 680~690°C

番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸% %	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度	番號	他元素	弾性界 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸% %	断面 収縮 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²	ブリ ネル 硬度
201	Ni 1	75.6	86.8	19.4	64.0	13.0	285	210	W 1.0	74.3	84.4	20.0	71.9	16.53	263
202	Ni 2	77.0	88.9	20.2	64.0	13.3	283	212	Mn 0.63	73.5	85.0	20.4	67.5	18.15	274
203	Ni 3	72.8	88.7	21.9	64.0	12.6	283	215	Cu 3	84.9	90.0	18.4	57.1	10.83	270
204	V 0.2	75.9	85.1	18.3	66.4	12.95	291	216	Cu 1	—	—	—	—	—	—
205	V 0.4	75.2	83.4	18.2	69.2	10.07	280	220	Al 1.2	61.6	76.5	23.1	63.4	15.63	220
206	V 0.6	76.6	85.2	18.6	64.0	13.45	264	222	Si 1.02	—	—	—	—	—	—
207	W 0.5	76.8	87.0	19.4	70.8	13.12	276	224	Si 3.12	92.7	110.7	21.4	47.2	2.62	305

第 16 表 單純なる Cr-Mo 鋼の性質*

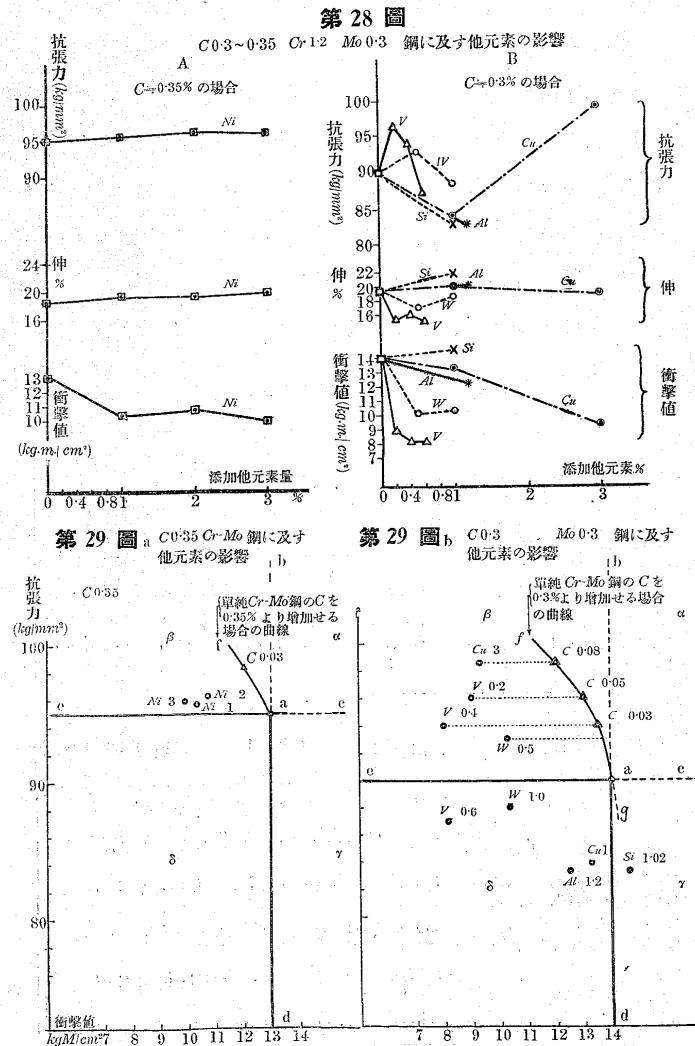
焼戻 850~860°C 焼戻 650~660°C

鋼 種 %	抗張力 kg/mm ²	伸 %	シャルピ ー衝撃値 kgM/cm ²
C 0.35 Cr 1.2 Mo 0.3	95	18.5	13
C 0.30 Cr 1.2 Mo 0.3	90	19.5	14

[* 本表の数値は第 21~23 圖より採れるものなり]

以上の第 13~15 表中焼戻 650~660°C のものを曲線とせしものは第 28 圖の如し。同圖中 A は C=0.35%, B は C=0.3% のものなり。

今同圖に於ける抗張力及衝撃値を集めたるものは第 29 圖



圖の如し、同圖 A 及 B は夫々 C=0.35% 及 C=0.3% のものなり、今便宜上第 29 圖 B を少しく説明せん。即ち單純 Cr-Mo 鋼の機械的性質(第15表)に及す他元素の影響を批判するの根據として一方に抗張力を、他方に衝撃値を採る事とし圖の中央點に單純 Cr-Mo 鋼の抗張力 90 kg/mm², 衝撃値 14 kgM/cm² を採り。之を a とす。而して此の單純 Cr-Mo 鋼にバナデウム、銅其の他を添加せる鋼の抗張力及衝撃値を夫々の位置に記入す。尙單純 Cr-Mo 鋼の C 0.3% より更に炭素を増加せしめたる場合の抗張力及衝撃値を第 21 及 23 圖より求め記入せしものは af 線上にあり、最後に a を中心として直線 bad 及 eac を引き次の區を作る。bac を α 區、bae を β 區、cad を γ 區、ead を δ 區とす、此の區域より次の事實を明瞭ならしめ得べし。

イ) α 區(單純 Cr-Mo 鋼の抗張力を更に増大し同時に衝撃値をも増大せしむるが如き區域)に記入せらるゝが如き鋼なし。

ロ) β 區(單純 Cr-Mo 鋼の抗張力を増大せしむるも衝撃値は却て減少するが如き區域)に屬する鋼は他元素として次の如き元素を添加せしものなるを知る。

(i) 炭素を少量宛増加せるもの af 線にて示す(a 點は C 0.3%, 従て C 0.08 の添加は全炭素 0.3+0.08=0.38% を示す)。(ii) V 0.2 及 0.4%, (iii) Cu 3% (iv) W 0.5%

ハ) γ 區(單純 Cr-Mo 鋼の抗張力を減少するも衝撃値を増大せしむる區域)のもの Si 1.02% を添加せる鋼ニ) δ 區(單純 Cr-Mo 鋼の抗張力及衝撃値共に減少する區域)に屬する鋼は他元素として次の如き元素を添加せるものなり。

(i) V 0.6%, (ii) W 1.0%, (iii) Cu 1.0% (iv) Al 1.2%

以上は第 29 圖 b の説明なるも第 29 圖 a も全く同様の意味を示すものにして唯單純 Cr-Mo 鋼(a 點にて

示す)の含炭素量が0.35%なるを異にするのみ。

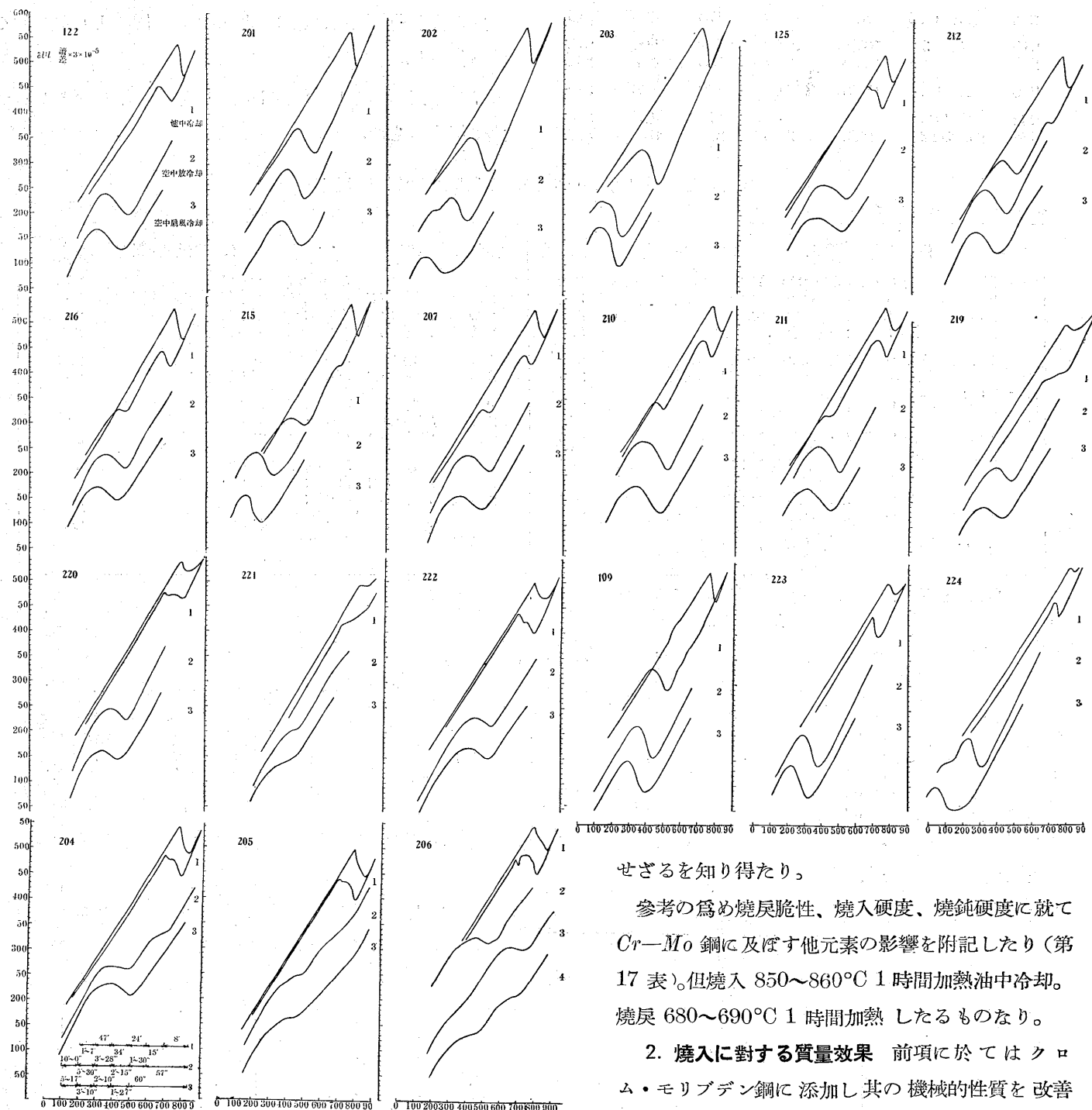
本圖には Ni 1, 2, 3% を含有する鋼は β 區にあるを知る。

次に單純 Cr—Mo 鋼に他元素添加の効果を批判せんに上述の δ 區に屬するものは改善にあらずして改悪なる故問題とするに足らず、α 區は理想なるも之に屬するものなし従て残る區域は β 及 γ なり。β 及 γ 區の特色はその中に炭素の増減、換言せば單純 Cr—Mo 鋼の炭素を少しく

變化せる鋼 f.a.g を含む事なり。然るに此 f.a.g 上の鋼は V 0.2%, 0.4%, Cu 3%, W 0.5%, Si 1.02%, Ni 1, 2, 3% 等の添加をなせる鋼よりも同一抗張力の場合常により大なる衝撃値を示す。従つて他元素添加の鋼は單純 Cr—Mo 鋼の炭素量を變化せしめた鋼より劣弱なる機械的性質を示す事明なり。

要之に以上の考察に依り Cr—Mo 鋼に添加して其の機械的性質を増進する見地より有利と考へ得る他元素は存在

第 30 圖 圖中 1. 爐中冷却 2. 空中放冷 3. 空中扇風冷却 4. 空中扇風冷却



せざるを知り得たり。
 参考の爲め焼戻脆性、焼入硬度、焼鈍硬度に就て Cr—Mo 鋼に及ぼす他元素の影響を附記したり(第 17 表)。但焼入 850~860°C 1 時間加熱油中冷却。焼戻 680~690°C 1 時間加熱したるものなり。
 2. 焼入に對する質量効果 前項に於てはクロム・モリブデン鋼に添加し其の機械的性質を改善する元素無きを述べたり。然れどももし是等特殊元

第 17 表 C 0.3~0.35, Cr 1.2, Mo 0.3%

鋼に及ぼす他元素の影響

番號	元素%	シャルピー衝撃値 kgM/cm ²		ブリネル硬度		B-A
		焼戻後油 中冷却	焼戻後爐 中冷却	焼鈍 A	焼入 B	
201	Ni 1	13.00	19.85	181	545	364
202	Ni 2	13.30	14.65	274	537	263
203	Ni 3	12.60	13.65	291	542	251
204	V 0.2	12.95	17.60	158	467	309
205	V 0.4	10.07	16.24	167	450	283
206	V 0.6	13.45	10.23	174	437	263
207	W 0.5	13.12	15.30	160	490	330
210	W 1.0	16.53	17.55	155	477	322
212	Mn 0.63	18.15	19.69	173	486	313
215	Cu 3	10.83	10.09	252	500	248
216	Cu 1	15.04	15.64	185	467	282
220	Al 1.2	15.63	15.00	158	468	310
222	Si 1.02	—	—	175	475	300
224	Si 3.12	2.62	2.68	272	648	376

素にして特殊鋼の特色たる焼入に對する質量効果を改善するものありとせば此點に於て他元素添加の使命確立さる可し、此點に關する研究次の如し。

焼入に對する質量効果を推定するの實驗方法は熱膨脹試驗片を空氣中にて冷却し其の Ar₃₋₁ の遲滯の程度、硬度及顯微鏡的組織に依るものとす。

實驗結果を曲線とせしものは第 30 圖の如し、是等の曲線中扇風機にて却冷せるもの、Ar₃₋₁ 及冷却後の試片の組織及硬度を表示せば第 18 表の如し。

此の表を曲線とせば第 31 圖の如し。同圖より次の如く考へ得へし。

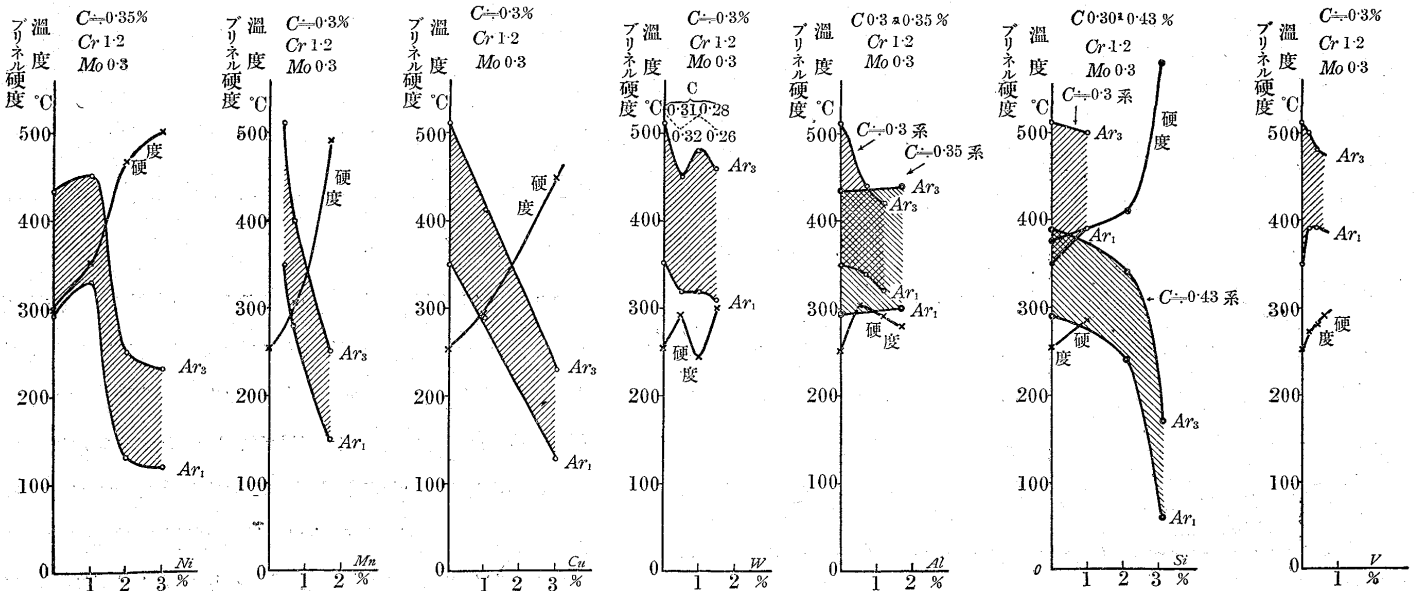
イ) 第四元素として添加し其の結果常に不利なるもの之に屬するものはバナヂウムなり。

第 18 表 Cr 1.2, Mo 0.3 鋼に及ぼす他元素の影響 扇風冷却

番號	他元素%	Ar ₃₋₁ °C	顯微鏡的組織	ブリネル 硬度	番號	他元素%	Ar ₃₋₁ °C	顯微鏡的組織	ブリネル 硬度
122	なし	436~295	F(微)+M(微)+T	300	125	なし	510~350	F+T	256
201	Ni 1	450~330	T+M(少量)	355	219	Al 0.68	440~340	F+M(僅かに戻さる)	302
202	Ni 2	250~130	T(半量)+M(半量)	468	220	Al 1.2	420~320	F+M+T	292
203	Ni 3	230~120	M	500	221**	Al 1.75	440~300	F+M+T	280
125	Mn 0.4	510~350	F+T	256	125	なし	510~350	F+T	256
212	Mn 0.63	400~280	T+M(少量)	309	222	Si 1.02	500~390	F+M+T	292
マクロン No 3*	Mn 1.69	250~150	M	490	109	なし	390~290	M+T	374
125	なし	510~350	F+T	256	223	Si 2.09	340~240	T(半)+M(半)	410
216	Cu 1	410~290	F+T+M(少量)	292	224	Si 3.12	170~60	T(少量)+M(大部分)	580
215	Cu 3	230~130	F+M(僅かに戻さる)	450	125	なし	510~350	F+T	256
125	なし	510~350	F+T	256	204	V 0.2	500~380	F+T	274
207	W 0.5	450~320	F+T+M(微)	293	205	V 0.4	450~380	F+T	280
210	W 1.0	480~320	F+T	244	206	V 0.6	明瞭ならざるも高し	F+T	293
211**	W 1.5	460~310	F+T	302					

* 此の番號に限り Cr 1.34% ** 炭素含有量を異にするも参考の爲記入

第 31 圖



ロ) 常に大なる影響無きもの……之に屬するものはタン
グステンなり。

ハ) 少量なれば殆ど影響無きも大量となれば幾分有利な
るもの……之に屬するものは珪素なり。

ニ) 少量なれば大なる影響無きも大量となれば有利なる
もの……之に屬するものはニッケル、マンガン、銅等なり
是等三元素の場合もその添加量 1% 程度迄は大なる影響
無きもそれ以上となれば好影響を與ふ。但しマンガンは恐
らく 1.5% 以上、ニッケルは 2% 以上、銅は 2.5% 以
上にて始めて好影響見らるゝものゝ如し。

ホ) 以上の事實を綜合するにクロム・モリブデン鋼の質
量効果をより良好ならしめんには、必要に應じニッケル・
マンガン或は銅等を或る限度以上添加するを適當とせん。

3. 小 括 以上 (1) 及 (2) に於けるクロム・モリ
ブデン鋼に及す第四元素がその機械的性質並に焼入に對す
る質量効果に及す影響を合せ考ふれば次の如くなる可し。

クロム・モリブデン鋼の小片に於ける機械的性質を改善す
るの見地よりせば第四元素は添加する必要を認めず、され
ど機械的性質を甚しく害する事無く焼入に對する質量効果
を増進するの見地よりせばマンガン約 1.5%、又はニッケ
ル約 2%、若くは銅約 2.5% を添加するを可とせん。

今理想的成分の二、三 (之を假に複合クロム・モリブデ
ン鋼と稱せん) を示せば次の如し。

成分%	A	B	C
C	0.33~0.35	0.33~0.35	0.33~0.35
Cr	1.1~1.4	1.1~1.4	1.1~1.4
Mo	0.3~0.4	0.3~0.4	0.3~0.4
Mn	1.3~1.7	0.5~0.8	0.5~0.8
Ni	—	2.0~2.5	—
Cu	—	—	2.5~3.0

此の鋼種 B 及 C のマンガン量は可及的上限に採るを有
利とす、是マンガンの質量効果に及す影響を利用せんが爲
めなり。

附 録

イ) 米 國 サム氏¹⁶⁾に依ればモリブデン鋼の添加金
屬としての價値は前世記の中頃より多少認められ居りしも
稀有金屬として其の價格非常に高く、從て其の特性に就て
も充分なる組織的研究をなし得ず、爲めに工業上實用化せ
られる事無くその儘となり居たるも世界大戦中モリブデン
の急激なる必要に迫られ價格急騰し、爲めに其の資源調査

¹⁶⁾ E. E. Thum, The Iron Age. No.2. vol 125. Jan 1930.
pp 141~144.

の結果、俄然米國西地方コロラド州 Climax, Red Mou-
ntain) に大鑛床發見せられ、其採鑛冶金設備の完備と共に
稀有金屬は遂に普通一般の工業金屬と化するに到れり。
斯くて各種の研究促進せられ、其の結果ニッケル・クロム
等と共にモリブデン 1% 以下を鋼に添加せば非常に優秀
なる構造用鋼を得られる事を確め得たり。

モリブデン含有鋼の製造は以前専ら坩堝爐に限られ居た
るも Ohio 州 Canton の United Alloy Steel Corpo-
ration に於て始めて 1917 年 2 月電氣爐にて 1918 年 5
月平爐にて作製せられたり。

斯くて大戦中は最高級の靱性を要する部分例へば鐵砲、
タンク用防楯等の如き輕防楯砲彈或は發動機軸等の如きも
のとして用ゐられ、大戦終了後もモリブデン製造者の研究
により製産價格も著しく低廉となり 1918 年 5 ドルなり
しものが現在は約其の 1/5¹⁷⁾ となれり斯くて各方面に益々
廣く利用せらるゝに到れり。

Gregg 及 Gillett¹⁸⁾ 氏に依れば Ni 3%, Cr 0.9%,
Mo 0.5% のものは焼戻脆性無く Cr—Mo 鋼は同じ硬度
の他の鋼よりも機械仕上げ容易にして磨耗に強し。又 C
0.95~1.1%, Cr 1.20~1.50%, Mo 0.15~0.30% のも
のは軸承球として Ni—Mo (Ni 1.5~2.0, Mo 0.2~0.3)
及 Mn—Mo (C 0.25, Mn 2.67, Mo 0.44) は炭素蒸用鋼
として Mn—Mo (Mn 2.3, Mo 0.5) は Ni—Cr—Mo 鋼
と同等の性質を有す。Mo 0.25~0.32, V 0.1 の V—Mo
鋼は Water Town にては遠心鑄造に依る火砲用鋼と考へ
居れり。尙此他高溫用鋼、工具鋼、鑄鋼、鑄鐵用として各
方面に Mo を使用すと。

Gillett 及 Mack¹⁹⁾ 兩氏は次の如く述べたり、即ち
Ni, Cr, V, Mn は特殊鋼用添加物として最も多く用ゐら
る。然るに之等は殆ど輸入せらるるものなり。此の種の輸
入原料の一部又は全部を置換し得るが如き國產金屬の開發
は米國製鋼業者並に使用者に取り重大なる意味あるものと
考へらる、此種の金屬こそ Mo なりと。

ロ) 獨 逸 ラパツツ²⁰⁾氏はクロム・モリブデン鋼が
ニッケル・クロム鋼の新競争者なる可きを述べたり。

ハ) 英 國 ヴイッカーズ會社にては有名なる Vibrac

¹⁷⁾ モリブデンはフェロモリブデン、モリブデン酸カルシウム
或は珪酸カルシウム・モリブデンとして販賣せらる。

¹⁸⁾ Metals and Alloys. April 1932.

¹⁹⁾ Molybdenum, Cerium, and related Alloy Steels.

²⁰⁾ Rapatz, Werkstoff-Handbuch, Stahl und Eisen H 19-3.

(Ni-Cr-Mo)の他 Cr-Mo, Mn-Mo 鋼を製造販賣しつつあり。

バーンス氏²¹⁾は Mn-Mo 鋼を研究し、低マンガン鋼に Moの添加に依り焼戻脆性を完全に防止し得 Mn2.3%, Mo 0.5% のものは Ni-Cr-Mo と同様の性質を有すといふ

2. モリブデンの資源

イ) 世界に於けるモリブデンの資源 文献²²⁾に依るに次の如し。

米國 Colo. Climax, Colo. Red Mountain 大鑛床、世界産額の 1/2 以上。Arizona, New Mexico, Nevada, California. 以上 4 は小鑛床。

英領 濠洲 Queensland, New South Wales. (世界産額の 1/6 位)。Canada.

ノルウェー 世界産額の 15%

即ち米國は世界のモリブデンを殆んど専有せるの觀あるものにしてモリブデンの利用が同國に於て最も盛んなる理由も自ら明らかにして同時に大陸に於ける發達の比較的遅々たる所以も略々想像せらる可し。

ロ) 本邦に於けるモリブデンの資源

内地 探掘せられし鑛山は島根縣山佐鑛山、富山縣黒部鑛山、此の他岡山、新潟にも産出せしと²³⁾傳へられあるも明らかならず。

朝鮮 相當の鑛山ありて目下稼業しつつあり。

I 稼業せるものは (i) 長水鑛山……全羅北道長水郡溪内面長溪里、本鑛山は世界大戰の初期開坑、一時は鑛石の賣價 10,000 圓/噸以上に達し、従業員も 1,000 人以上となり、鑛石は全部獨逸に輸出せられし戦後需要激減價格暴落の爲め全鑛山の閉鎖をなしたり。然るに現在は之を鮮人に貸與し稼行せしめつつあり。(ii) 金剛水鉛鑛山……江原道金剛山、新式浮遊選鑛機にて選鑛し現代的稼行をなしつつあり。

II 最近稼業を開始せるものは (i) 三東水鉛鑛山……慶尙南道南海郡三東面、新式浮遊選鑛をなしつつあり。

III 目下稼行計畫中のものは (i) 江原道蔚珍郡平明里

IV 其の他鑛區は 全羅南道順天郡樂安面王山里、忠清北道槐山郡清川面清川里、慶尙南道密陽郡三浪津附近。

ハ) 朝鮮總督府に依る朝鮮のモリブデン産額調²⁴⁾

年次	鐵量(斤)	價格(圓)
昭和 2 年	49,953(約 30 噸)	30,608
〃 元年	17,600	10,454
大正 14 年	14,378	13,518
〃 13 年	—	—
〃 12 年	—	—
〃 11 年	—	—
〃 10 年	—	—
〃 9 年	550	2,629
〃 8 年	35	35
〃 7 年	2,842	51,767

(註—佛蘭……1,666.67 斤)

結 論

本研究は上記 4 編及び附録より成る。第 1 編は文献的研究調査にしてニッケル・クロム鋼代用鋼としてモリブデン鋼を選ぶ可きを述べ、第 2 編に於てはモリブデン鋼の豫備的研究をなしクロム・モリブデン鋼の優秀なるを結論し、第 3 編に於てはクロム・モリブデン鋼の炭素クロム・モリブデン三元素の組み合わせ方を研究し單純クロム・モリブデン鋼の成分を決定す。第 4 編に於ては單純クロム・モリブデン鋼に更に第 4 元素を添加し其の性質の改良進歩を研究し複合クロム・モリブデン鋼の成分を決定す。最後に附録として内外國に於けるモリブデンの資源調査を輯録したり今其の要領を述べれば次の如し。

第 1 編文献的研究に於て ニッケル・クロム鋼は既に 20 數年前に現在の如き優秀鋼としての位置を確保せり、モリブデンは當時尙甚だ高價なる金屬なりしも其の後産額の増大に伴ひ安價となり工業用金屬となれり。然るにモリブデンは鋼の機械的性質及焼入に對する質量效果共に良好なるが如く尙國産資源なるが故に代用鋼としてモリブデン鋼を研究せり。

第 2 編モリブデン鋼の豫備的研究に於て モリブデン鋼としては珪素・モリブデン鋼、マンガン・モリブデン鋼、珪素マンガン・モリブデン鋼、クロム・モリブデン鋼等の小片に就ての研究結果ニッケル・クロム鋼に匹敵する抗力を有するものはクロム・モリブデン鋼(炭素 0.38%, クロム 0.8~1.3%, モリブデン 0.3%)なるを知れり。此鋼は小片に於てのみならず大鋼片となるも焼入に對する質量效果極めて良好にして所謂 3% ニッケル・クロム鋼(炭素 0.3~0.35%, ニッケル 3~3.5%, クロム 0.75%)或はマンガン・クロム鋼(炭素 0.3~0.35%, マンガン 1~1.5% クロム 0.7~1.0%)と略々同程度のものなるを知れり。

第 3 編單純クロム・モリブデン鋼の研究に於て クロム・モリブデン鋼に於けるクロム・モリブデン、炭素三者の關

²¹⁾ G. Burns (Woolwich) 前出

²²⁾ Liddell; Handbook of Non-ferrous Metallurgy (1926) vol 2. p 1338.

²³⁾ 石川、鑛業地理

²⁴⁾ 本邦鑛業之趨勢 昭和 2 年附録 20 頁

係を研究せるに小片にての機械的性質の見地りせば下記三成分は略々同一の抗力を示す。

成分%	C	Cr	Mo
A	0.3	1.2	0.3~0.9
B	0.35	1.2	0.2~0.4
C	0.4	1.2	0.1~0.15

然るに焼入に對する質量効果を研究せるにクロムはその量多き程良好なるが如くモリブデンは0.4%程度に於て既に充分の効果を示し且つその量を之以上増大するもその割に効果増大せざるが如し。尙炭素はクロム及モリブデンの共存に於ては高き程良好なるが如きを以て單純クロム・モリブデン鋼としては小片の機械的性質及焼入に對する質量効果の兩方面を併せ考へ上記 B 種に屬する下記のものゝ適當と考へたり。

炭素 0.33~0.35%, クロム 1.1~1.4%,
モリブデン 0.3~0.4%, マンガン 0.5~0.8%

但しマンガンは次編の研究に基き特に上限に近く採るを可とす。尙此種鋼材は肉厚 200~300mm 以下の場合に使用するを適當とす。

第4編複合クロム・モリブデン鋼の研究に於てクロム・モリブデン鋼に第四元素としてニッケル・バナヂウム・タングステン、珪素、マンガン、銅、アルミニウム等を添加し先づ小片に於ける機械的性質を研究せるに上記各元素共、單純クロム・モリブデン鋼の機械的性質を改善する事始ど無し、然れども焼入に對する質量効果を研究せるにニッケル・マンガン鋼等は或限度以上を添加せば有利にしてタングステンは殆ど影響無く、珪素は少量なれば殆ど影響無く大量となれば幾分影響あり。バナヂウムは其の量の

如何に拘らず常に不利なり。斯くて小片に於ける機械的性質と焼入に對する質量効果とを併せ考ふれば次の如き複合クロム・モリブデン鋼は現時代に於ける最優秀構造用鋼の1種たるを知れり。

成分%	C	Cr	Mo	Mn	Ni	Cu
A	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	1.3~1.7	—	—
B	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	0.5~0.8	2.0~2.5	—
C	0.33~0.35	1.1~1.4	0.3~0.4	0.5~0.8	—	2.5~3.0

即ち A はマンガン・クロム・モリブデン鋼、B はニッケル・クロム・モリブデン鋼 C は銅・クロム・モリブデン鋼なり。此内 A 及 C は國產資源のみより成るも B にはニッケルを含有す。蓋し本編は所謂ニッケル・クロム鋼より遙かに優秀なる鋼種を得んが爲めの研究なるを以て、第四元素としては特に國產資源と限定せざりしが故なり。

尙上記 A, B, C の3種は單純クロム・モリブデン鋼よりも焼入に對する質量効果一層良好なるを以て肉厚 200~300mm 以上の場合は此種複合クロム・モリブデン鋼を使用するを可とす。但し肉厚 200~300mm 以下の場合は單純クロム・モリブデン鋼と同程度或はそれ以下の性質を有するに過ぎざるを以て、使用者は特に此點に注意し肉厚 200~300mm を限界とし兩鋼の使用區分を明らかにするを要す。

附録に於てモリブデンは國產資源なるを明にせり。

モリブデンの價格は常にニッケルの10倍以内なるを以て3%ニッケル・クロム鋼よりも0.3%モリブデンを含有しある單純クロム・モリブデンの方安價なりとす。

擱筆するに當り本研究を終始熱心に助力せられたる龜海元作、島村節三兩君に感謝す。

推 進 器 材 料 の 研 究

藤 井 芳 郎*

ON THE MATERIAL FOR SCREW PROPELLER.

By Yoshiro Fujii.

SYNOPSIS:—The author believes that the corrosion fatigue limit of the material is one of the chief causes which induce the propeller erosion.

Therefore, after investigating about the corrosion fatigue phenomenon, he can find out the new good material for propeller which has the high corrosion fatigue limit and good casting property.

第 1 緒 言

推進器の潰蝕に就ては種々の成因が擧げられて居るが、最近多くの推進器及び類似の用途のものに就て其の生成状

況並に箇所を調査考察の結果)「潰蝕は一般に應力が急激に最大量に達し且つ其の消長度大なる翼根部に多數發生する事實から該部が其の材料の海水中に於ける腐蝕疲勞限度

* 横須賀海軍工廠

1) 風間：機械學會誌 4(1930)1172