

## 無ニツケル肌焼鋼に関する研究

(日本鐵鋼協會第26回講演大會講演・昭16.10.東京)

高尾善一郎・上田滿正\*

## ON THE STUDY OF THE NON-NICKEL CASE-HARDENING STEELS.

*Zen-itiro Takao and Mitumasa Ueda.*

SYNOPSIS:— To examine the practically useful properties of chromium and chromium-molybdenum steels now in current use as non-nickel case-hardening steels and to find the higher strength steels in substitution for the high nickel-chromium case-hardening steels (Ni 4~5%, Cr 0.5~1%), investigations were made on the mechanical properties, mass effect and carburizing characteristics of chromium and chromium-manganese steels with 1~3% Cr. The results obtained were summarized as follows:

- (1) 1~1.2% manganese increases the tensile strength of the 1% and 2% chromium-molybdenum steels without decreasing the tenacity, but more manganese diminishes the Charpy impact value while increasing the tensile strength.
- (2) Some kinds of alloy steels containing 3% Cr were found to be more excellent in the mechanical properties and the mass effect than 2% Cr-Mn steels, especially the 3% Cr-Mo steels were proved to have more superior mechanical properties than 2/2% Cr-Ni-Mo steel or 3/2% Cr-Ni-Mo steel which contains 1~2% Ni.
- (3) From the viewpoint of mass effect, the 3% Ni steel may be substituted by steels with 1% Cr or 1.5% Mn, and the 4% Ni-Cr steel by those with 2% Cr and 1% Mn.
- (4) These kinds of alloy steels are apt to be subjected to over-carburizing, forming a globular carbide zone on the carburized surface which makes the case brittle. Some especially compounded carburizing agents proved to be effective in preventing the over-carburizing.

## 目次

## I. 緒言

- I. 緒言
- II. 研究の方針
- III. 研究経過の詳細
  1. 試料の成分並に調製
  2. 變態點の測定
  3. 機械的性質
    1. 試験要領 2. 試験結果 3. 3% Ni 鋼及 4% NiCr 鋼と代用無 Ni 鋼との比較對照
  4. 質量效果に関する實驗
    1. 實驗要領 2. 實驗結果
      - [A] 冷却速度の變化による Ar 變態温度の測定
      - [B] 鋼材の大きさの變化に伴ふ焼入断面硬度の分布狀況の變化測定
  5. 滲炭に関する實驗
    1. 實驗の要領 2. 實驗結果
      - a) 滲炭温度、時間と滲炭性
      - b) 滲炭層の顯微鏡組織と滲炭度並に深さとの關係
        - (イ) 過共析球狀炭化物の析出狀況
        - (ロ) 結晶粒粗大化傾向の比較
      - c) 滲炭層の焼入後の硬度並に硬化狀況
      - d) Cr 鋼の過剰滲炭防止に関する一實驗
- IV. 結言

無ニツケル或は之を節約せる所謂代用鋼は、時局下種々論議せられ、特に構造用鋼に関しては Cr 鋼系統のものゝ代用鋼規格の制定を見、各方面にて研究吟味せられ、漸く實用化の範圍を擴大せられるに至つてゐる。然るに一方この種の代用 Cr 鋼は、從來航空機用鋼材として一部に使用せられたる經驗があるのみで、一般には尙その機械的性質、質量效果に依る熱處理其他の取扱上等に懸念せられる向もあり、全面的には使用せられる迄には至つて居ない。

強靱鋼の研究は獨逸を初めとして各國にて行はれ、本邦に於ても既に數種の著明な研究がある程であるが、肌焼鋼に関しては、内外共に比較的研究少く強靱鋼程、其全貌が明かにされて居ない。即ち獨逸を主としその著しいものを擧げると

Cr-Mo 肌焼鋼の抗張性質に関する Hermann Voss, Fritz Krämer 氏<sup>1)</sup>の研究

Cr-Mo 肌焼鋼の質量效果に関する H. Kiessler の研究<sup>2)</sup>

Cr 及び Cr-Mn 鋼を主とする肌焼鋼の機械的性質並に滲炭性質に関する H. Schrader<sup>3)</sup>の研究

Cr-Mo 及び Cr-Mn 鋼の滲炭に関する Hans Diergarten

\* 神戸製鋼所

第1表 (i) 本邦に於ける含ニツケル肌焼鋼とその無ニツケル代用鋼

規格	化学成分%					機械的性質					含ニツケル鋼 (JES 肌焼鋼)		
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	絞 %	シャルピー kgm/cm <sup>2</sup>			
JES 肌焼鋼 第7種 (Cr 鋼)	0.12 ~ 0.18	0.5 ~ 0.8	0.6 ~ 1.1	—	—	70	45	12	40	6	第2種	Ni 2~3%	抗張力 >80kg/mm <sup>2</sup>
" " 第8種 (Cr-Mo 鋼)	0.12 ~ 0.18	0.5 ~ 0.8	1.0 ~ 1.3	0.15 ~ 0.3	—	85	75	15	40	5	第3種	Ni 3~4% Cr <0.5%	>90kg/mm <sup>2</sup>
											第4種	Ni 3~4% Cr 0.5~1%	>95kg/mm <sup>2</sup>
陸航假 (イ 108) 2/2% Cr-Ni-Mo 鋼	0.15 ~ 0.25	0.5 ~ 0.8	1.8 ~ 2.3	0.2 ~ 0.4	1.8 ~ 2.3	110	90	12	45	7	第5種	Ni 4~5% Cr <0.5%	>100kg/mm <sup>2</sup>
陸航假 (イ 109) 3/2% Cr-Ni-Mo 鋼	0.15 ~ 0.23	0.8 ~ 1.1	2.5 ~ 3.5	0.15 ~ 0.25	1.0 ~ 2.0	120	100	13	40	5	第6種	Ni 4~5% Cr 0.5~1%	>110kg/mm <sup>2</sup>

(ii) 獨逸に於ける肌焼代用鋼

鋼種	符號	化学成分%				機械的性質			摘要	
		C	Mn	Cr	Mo	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	伸(1=5d) %		
A	Cr 鋼	EC 30	0.10 ~0.16	0.4 ~0.6	0.3 ~0.5	—	55~70	35	14	水 冷
		EC 60	0.12 ~0.18	0.4 ~0.6	0.6 ~0.9	—	70~90	50	12	" "
	Cr-Mo 鋼	EC Mo 80	0.13 ~0.17	0.8 ~1.1	1.0 ~1.3	0.2 ~0.3	85~110	60	10	油 冷
		EC Mo 100	0.18 ~0.23	0.9 ~1.2	1.1 ~1.4	0.2 ~0.3	110~145	75	7	" "
B	Cr-Mn 鋼	EC 80	0.14 ~0.19	1.1 ~1.4	0.8 ~1.1	—	85~110	60	10	EC Mo 80 に該當
		EC 100	0.18 ~0.23	1.2 ~1.5	1.2 ~1.5	—	110~145	75	7	EC Mo 100 "
	Cr-Mo 鋼	EC Mo 200	0.16 ~0.22	1.1 ~1.4	1.7 ~2.0	0.15 ~0.25	120~150	85	7	断面 30mm 以上の 場合に適用

4) の研究

等がある。我國では

石田博士及び東村氏<sup>3)</sup>の肌焼 Cr-Mn 鋼の研究

錦織博士及び淺田氏<sup>4)</sup>の Ni-Cr 鋼代用鋼の研究の一

部として Ni を節減せる Cr-Ni-Mo 鋼, Si-Mn-Cr 鋼

等の研究

を見るに過ぎない。

特に質量効果を考慮せる強力なる (110kg/mm<sup>2</sup> 以上の) 無ニツケル肌焼鋼に就て、既に以上の研究に於て取扱へるものもあるが、實用上内部強度の問題、滲炭に関する性質其他に關し研究すべき餘地があるので、著者等は、1~3% Cr 鋼を基礎とせる 10 數種の無ニツケル乃至低ニツケル鋼に就き、實用的方面を主眼とせる 2, 3 の實驗を行ひその價値を検した。茲に一部の成果を報告し参考に供することとした。

II. 研究の方針

本邦に於ける現用無ニツケル肌焼鋼にては第1表(i)の

JES 臨時第7種 Cr 鋼と第8種 Cr-Mo 鋼の2種で強度約 90kg/mm<sup>2</sup> 迄のものがあるに過ぎない。従つて在來の Ni 4~5% を含む第5種及び第6種に匹敵する強度の比較的高い 100kg/mm<sup>2</sup> 以上のものに就ては、一般には考慮せられてゐない。唯一昨年 (昭和 15 年) 陸軍航空假規格として 110kg 2/2 Cr-Ni-Mo 鋼 (イ 108), 120kg 3/2 Cr-Ni-Mo 鋼 (イ 109) の制定を見てゐるが、之等は何れも 1~2% の Ni を含む含ニツケル鋼に屬するものである。(但之等の中イ 108 のみ本年 1 月陸海航空機材代用鋼規格として正式に決定された)。この種無ニツケル鋼に就ては獨逸では古くより關心を有し、第1表 (ii) の (A) の如き規格が制定せられ、110kg 以上の無ニツケル鋼も出來、4 種のものがある。又最近 Eisenhüttenleute は無 Mo 鋼として Cr-Mn 鋼 (B) を提案してゐる位である。

本實驗では、現行の代用鋼たる Cr 鋼, Cr-Mo 鋼に就き實用上必要な性質を吟味すると共に無ニツケルを以て、從來の含ニツケル鋼 (Ni 4~5%) に匹敵する高力肌焼鋼を得べく、Cr-Mn 鋼の系統の鋼種のものに就き研究するこ

とした。

### III. 研究經過の詳細

#### 1. 試料の成分並に調製

供試鋼種は第2表の通りにして1%及び2% Cr 系統のもの並に之に Mn 1~1.5%, Mo 0.30% 添加せるもの及び3% Cr 系統のもの等13種類にして、之等の鋼種と比較のため在來の JES 肌焼鋼第1種 (C 鋼), 第3種 (3% Ni 鋼) 及び第6種 (4% Ni Cr 鋼) を標準材として採用した。之等は總て次の如き同一工程を以て試験材を製作した。

即ち熔製は總て 500 kg 鹽基性高周波電氣爐にて行ひ、150 kg 丸型鋼塊を鑄造し、之より鍛鍊並に壓延により所定の素材を造り、何れの素材も  $A_{c_3} + 60^\circ C$  にて燒準後  $650^\circ C$  にて低温軟化を行つた。その分析成分は第2表の通りである。

#### 2. 變態點の測定

燒鈍せる各素材に就き全熱膨脹法によつて變態點 ( $A_{c_1}$  及び  $A_{c_3}$ ) を測定せる結果は第2表最右欄に示す通りである。之によると Cr の増加と共に  $A_{c_1}$  は上昇し、 $A_{c_3}$  は  $C\%$  にも關係するが餘り Cr・Mn によつて變化を認めない。要するに從來の含 Ni 鋼に比し、 $A_{c_1}$  は  $30 \sim 70^\circ C$  高

めである。

#### 3. 機械的性質

1. 試験要領 本試験には各鋼種の 25mm $\phi$  壓延材を燒準 (溫度  $A_{c_3} + 60^\circ C$ ) の後之を低温軟化し ( $650^\circ C/3h$  空冷), 豫め抗張試片 (直徑 14mm, 標點距離 50mm) 並に衝擊試片 (シャルピー標準型) を作製し、鹽浴爐を以て第3

第3表 熱處理の種類

一次燒入	二次燒入	燒 戻
$A_{c_3} + 5^\circ C/30min$ 油冷	1 $A_{c_1} + 20^\circ C$ {水冷 油冷}	燒戻せず $100^\circ C/3h$ 油中
	2 $A_{c_1} + 40^\circ C$ {水冷 油冷}	$150^\circ C/3h$ "
	3 $A_{c_1} + 60^\circ C$ {水冷 油冷}	$200^\circ C/3h$ "

表の如き 24 通りの熱處理を行ひ、熱處理による機械的性質の變化を検討した。

2. 試験結果 第4表は各鋼種に就き二次燒入並に燒戻溫度による機械的諸性質の變化を一覽表示せるものであり又第1圖 (A) 及び (B) は鋼種別に燒戻溫度  $150^\circ C$  の場合の機械的性質を、抗張力と降伏點、伸、絞、降伏比及びシャルピー値との關係を以て圖示したものである。尙試験結果に於て 2/2 Cr Ni Mo 鋼供試材は他の供試材に比し C

第2表 供 試 鋼 成 分

鋼種・系統	鋼 種	化 學 成 分 (%)										註	變 態 點 $^\circ C$	
		C	Si	P	S	Cu	Cr	Mn	Mo	Ni	變態の開 始 ( $A_{c_1}$ )		變態の終 了 ( $A_{c_3}$ )	
Cr 1%	Cr 系	Cr 鋼	.15	.26	.022	.016	.22	.88	.64	--	--	JES 臨時 肌焼 Cr 鋼	750	870
		Cr Mo 鋼	.18	.18	.013	.006	.24	1.18	.63	.34	--	" Cr Mo 鋼	745	865
	Cr Mn 系 (Mn: $\approx 1.5\%$ )	1.5 Mn 鋼	.17	.23	.025	.009	.12	--	1.59	--	--		730	865
		1/1.5 Cr Mn 鋼	.16	.20	.029	.015	.19	.98	1.51	--	--		750	825
Cr 1.5%	Cr Mn 系	1.1/2 Cr Mn Mo 鋼	.17	.26	.026	.008	.21	1.05	1.24	.28	--		750	840
		1.5/1.5 Cr Mn 鋼	.21	.25	.024	.008	.10	1.30	1.45	--	--		755	830
Cr 2.0%	Cr Mn 系 (Mn: $\approx 1.0 \sim 1.5\%$ )	2/1.5 Cr Mn 鋼	.20	.36	.011	.014	.08	2.05	1.63	--	--		770	835
		2/1 Cr Mn Mo 鋼	.17	.27	.026	.006	.12	2.23	.98	.32	--		785	850
		2/1.5 Cr Mn Mo 鋼	.19	.24	.029	.010	.22	1.98	1.34	.27	--		760	820
Cr 3%	Cr Ni 系	2/2 Cr Ni Mo 鋼	.25	.24	.010	.002	.07	2.29	.63	.35	1.88	陸 航 假 イ 108	755	795
		3 % Cr 鋼	.19	.17	.025	.008	.12	2.71	.60	--	--		785	845
Cr 3%	Cr 系	3 % Cr Mo 鋼	.18	.24	.023	.004	.12	3.10	.56	.33	--		805	850
		3/2 Cr Ni Mo 鋼	.16	.28	.009	.006	.04	3.23	.99	.27	1.99	陸 航 假 イ 109	730	805
Ni 鋼 系	3 % Ni 鋼	3 % Ni 鋼	.14	.45	.014	.005	.16	.38	.59	--	3.28	JES 肌焼鋼 第 3 種	700	800
		4 % Ni Cr 鋼	.11	.30	.016	.006	.11	.90	.53	.36	4.39	" 第 6 種	720	785
C	鋼	.08	.14	.011	.011	.23	--	.51	--	--	" 第 1 種	740	835	

第4表 熱処理に依る機械的性質の變化 (抗張試験は3試片, 衝撃試験片は4試片の平均値を示す)

1) 1% Cr 鋼

化 學 成 分 (%)							變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
0.15	0.26	0.64	0.022	0.016	0.22	0.88	750	870

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次焼入	二次焼入	焼戻	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降/抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm <sup>2</sup>	ブリネ ル硬度	
	—	—	58.1	91.2	63.7	15.6	55.8	14.4	238	
920°C 30mn 油冷	770°C 30mn 油冷	150°C 3h 空冷	43.1	76.3	56.4	25.5	50.4	11.1	214	
			50.4	89.4	56.3	20.7	44.2	10.8	246	
	790°C 30mn 油冷	150°C 3h 空冷	46.1	76.7	60.1	28.3	54.2	11.6	228	
			53.7	95.0	56.5	19.2	48.2	10.1	267	
810°C 30mn 油冷	—	—	54.1	87.9	61.5	20.8	45.7	12.0	228	
			54.1	97.2	55.6	17.4	45.7	8.3	256	

2) 1% Cr Mo 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
0.18	0.18	0.63	0.013	0.006	0.24	1.18	0.34	745	865

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次焼入	二次焼入	焼戻	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降/抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm <sup>2</sup>	ブリネ ル硬度	
	—	—	80.0	111.2	71.9	14.3	55.9	11.5	272	
920°C 30mn 油冷	770°C 30mn 油冷	150°C 3h 空冷	45.9	79.3	57.8	23.1	40.3	8.3	224	
			46.6	89.7	51.9	18.8	40.2	8.8	267	
	790°C 30mn 油冷	150°C 3h 空冷	51.6	86.5	59.6	21.2	44.5	7.9	250	
			63.5	104.4	60.8	16.5	40.0	7.1	317	
810°C 30mn 油冷	—	—	64.4	105.8	60.9	14.6	57.4	8.9	280	
			55.3	106.3	52.0	17.3	45.4	7.4	316	

3) 1.5% Mn 鋼

化 學 成 分 (%)							變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
0.17	0.23	1.59	0.025	0.009	0.12		730	865

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次焼入	二次焼入	焼戻(°C/ 3h空冷)	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降/抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm <sup>2</sup>	ブリネ ル硬度	
	—	—	74.1	101.7	72.9	5.0	43.7	7.4	251	
920°C 30mn 油冷	750°C 30mn	—	43.9	72.9	60.7	30.6	53.5	15.3	189	
			37.6	71.4	52.7	37.1	60.9	15.1	194	
			150	38.8	72.9	53.2	32.3	56.3	19.9	198
		200	39.9	72.2	55.3	34.7	59.3	21.3	194	
			—	56.3	98.9	56.9	19.4	41.9	6.4	250
				100	55.0	99.3	55.4	22.0	42.3	6.0
	150	58.2		95.9	60.7	22.5	49.4	9.1	265	
	770°C 30mn	—	42.6	71.6	59.5	35.2	57.5	15.9	192	
			100	39.6	73.8	53.6	30.9	58.4	14.0	194
			150	39.0	71.5	54.5	39.5	60.5	17.9	195
		200	42.0	71.0	59.2	37.9	60.1	18.5	186	
			—	56.5	102.6	55.1	17.8	41.6	6.8	256
100				53.0	100.4	52.8	18.0	42.3	6.5	265
150	61.0	102.1		59.7	20.2	45.6	10.0	262		
790°C 30mn	—	45.7	73.2	62.4	29.0	52.5	16.5	191		
		100	40.6	73.1	55.5	29.0	52.9	16.3	191	
		150	44.8	75.5	59.3	26.5	52.2	20.2	188	
	200	41.5	72.4	57.3	27.2	58.2	20.6	190		
		—	69.1	109.7	63.0	14.3	35.7	7.6	300	
			100	77.6	113.6	68.3	13.1	35.5	7.4	304
150	64.5		105.9	60.9	13.7	39.7	10.9	306		
200	73.5	103.5	71.0	15.9	43.4	12.9	290			

4) 1/1.5% Cr Mn 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	
0.16	0.20	1.51	0.029	0.015	0.19	0.98	750	825	

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次焼入	二次焼入	焼戻(°C/ 3h空冷)	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降/抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm <sup>2</sup>	ブリネ ル硬度	
	—	—	91.6	133.5	68.6	15.1	55.2	7.5	356	
580°C 30mn 油冷	770°C 30mn	—	55.2	101.7	54.3	17.7	31.7	6.9	266	
			100	53.5	99.8	53.6	19.4	38.5	7.8	273
			150	61.0	99.3	61.4	22.4	45.6	10.3	269
		200	62.5	98.1	63.7	23.0	50.0	11.5	267	
			—	72.6	118.1	61.5	15.1	29.9	4.8	328
				100	71.4	120.4	59.3	16.6	38.6	5.6
	150	75.4		114.8	65.6	17.3	43.7	7.9	319	
	790°C 30mn	—	83.6	124.3	67.3	12.4	47.7	7.5	331	
			100	85.2	123.6	68.9	14.0	45.8	7.6	342
			150	87.9	129.1	68.0	17.0	53.1	8.5	349
		200	93.2	127.7	72.9	11.0	52.9	9.0	345	
			—	96.3	139.5	69.0	16.6	42.6	5.8	406
100				100.0	143.5	69.6	17.8	49.7	6.6	403
150	107.0	139.1		76.9	15.7	51.8	7.6	408		
810°C 30mn	—	85.4	130.6	65.4	18.0	55.7	8.0	356		
		100	89.1	132.7	67.1	15.4	54.1	8.5	345	
		150	93.5	127.8	73.2	16.0	53.5	9.4	341	
	200	93.6	124.0	75.5	12.5	51.1	8.9	334		
		—	101.2	144.0	70.3	16.8	53.3	9.1	404	
			100	107.9	141.2	76.4	17.4	51.9	9.3	404
150	110.4		138.5	79.7	17.5	57.5	10.3	403		
200	107.6	137.8	78.1	17.3	57.7	10.1	400			

5) 1/1.2% Cr Mn Mo 鋼

Table with 2 main columns: 化學成分 (%) and 變態點 (°C). Chemical composition includes C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Mo. Transformation points include Ac1 and Ac3.

Table with 2 main columns: 熱處理 and 機械的性質. Thermal treatments include 770°C, 890°C, and 810°C with oil and water cooling. Mechanical properties include yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area.

7) 2/1.5% Cr Mn 鋼

Table with 2 main columns: 化學成分 (%) and 變態點 (°C). Chemical composition includes C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr. Transformation points include Ac1 and Ac3.

Table with 2 main columns: 熱處理 and 機械的性質. Thermal treatments include 790°C, 890°C, and 830°C with oil and water cooling. Mechanical properties include yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area.

6) 1.5/1.5% Cr Mn 鋼

Table with 2 main columns: 化學成分 (%) and 變態點 (°C). Chemical composition includes C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr. Transformation points include Ac1 and Ac3.

Table with 2 main columns: 熱處理 and 機械的性質. Thermal treatments include 780°C, 880°C, and 820°C with oil and water cooling. Mechanical properties include yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area.

8) 2/1% Cr Mn Mo 鋼

Table with 2 main columns: 化學成分 (%) and 變態點 (°C). Chemical composition includes C, Si, Mn, P, S, Cu, Cr, Mo. Transformation points include Ac1 and Ac3.

Table with 2 main columns: 熱處理 and 機械的性質. Thermal treatments include 800°C, 900°C, and 840°C with oil and water cooling. Mechanical properties include yield strength, tensile strength, elongation, and reduction of area.

9) 2/15% Cr Mn Mo 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>
0.19	0.24	1.34	0.029	0.010	0.2	1.98	0.27	760	820

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次燒入	二次燒入	燒入(°C/3h空冷)	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	降抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/cm <sup>2</sup>	ブリネ ル硬度	
			101.6	147.0	69.1	15.8	47.7	-7.1	410	
			95.5	148.8	64.2	16.0	51.1	9.5	413	
		100	86.5	140.3	61.7	14.6	39.3	9.8	412	
		150	105.5	141.9	72.8	16.2	54.3	9.9	415	
		200	100.0	136.1	73.5	15.3	48.2	10.5	410	
	780°C		91.0	143.5	63.4	10.8	14.6	5.3	420	
		油冷	100	101.6	141.9	71.6	14.8	36.5	7.6	419
		150	95.8	137.4	69.7	14.4	42.2	8.4	412	
		200	105.2	136.6	77.0	15.7	46.6	10.1	408	
	30mn		98.6	149.4	65.9	16.6	50.5	8.8	411	
		油冷	100	100.3	149.9	66.9	16.5	55.2	8.9	415
		150	133.0	148.0	89.9	16.9	57.8	9.0	412	
		200	119.0	148.2	80.3	17.5	60.6	10.4	400	
	800°C		101.8	156.9	64.9	15.3	49.1	6.1	412	
		油冷	100	116.2	155.6	74.7	16.5	56.0	7.3	419
		150	115.9	149.9	77.3	17.5	60.8	10.1	415	
		200	119.2	147.5	80.8	17.6	61.3	11.5	393	
	30mn		105.9	152.5	69.4	15.9	52.0	8.5	418	
		油冷	100	101.9	151.5	67.3	16.0	54.8	9.1	420
		150	107.3	151.2	71.9	16.9	58.2	9.0	412	
		200	110.0	150.2	73.2	16.6	59.9	10.5	409	
	820°C		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	154.6	77.2	17.5	57.7	10.0	414	
		200	119.4	150.6	79.3	16.3	59.9	11.3	412	
	30mn		107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416	
		油冷	100	109.4	155.2	70.5	16.3	56.9	9.5	428
		150	119.4	15						

13) 3/2% Cr Ni Mo 鋼

化學成分 (%)										變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	
0.16	0.28	0.99	0.009	0.006	0.04	3.23	1.99	0.27	730	805	

熱處理			機械的性質							
一次燒入	二次燒入	燒戻 (°C/3h)	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降/抗 (%)	伸 (%)	絞 (%)	シャルビ (kg/cm <sup>2</sup> )	ブリネ (硬度)	
	—	—	90.0	140.4	64.2	14.1	47.8	11.0	380	
860°C 30mm 油冷	750°C 30mm	—	72.7	113.0	64.3	18.1	51.5	12.1	326	
		100	75.8	114.6	72.4	18.9	55.6	13.1	325	
		150	81.1	114.5	70.8	19.1	56.1	13.1	333	
		200	84.2	112.3	75.0	18.7	55.6	13.3	323	
	770°C 30mm	—	—	73.2	108.5	67.4	18.5	51.6	13.0	337
		100	76.6	107.2	71.4	19.8	56.7	14.1	323	
		150	73.7	104.9	70.2	19.4	59.2	15.1	316	
		200	82.3	109.3	75.3	18.2	56.4	15.1	308	
	790°C 30mm	—	—	91.5	137.6	66.4	14.9	47.9	12.5	385
		100	98.0	136.7	71.7	16.2	51.5	12.9	385	
		150	105.1	137.0	76.8	16.5	55.8	12.9	377	
		200	100.6	135.6	74.2	17.2	57.3	13.3	372	
790°C 30mm	水冷	—	90.6	137.2	66.0	14.4	45.1	11.2	403	
		100	89.2	129.7	68.8	16.1	50.2	11.7	393	
		150	100.2	130.2	77.0	15.0	53.9	12.1	368	
		200	105.0	131.9	79.6	16.7	56.7	13.0	367	
790°C 30mm	油冷	—	98.0	140.3	69.8	14.3	49.2	11.2	385	
		100	102.8	140.8	73.0	16.3	53.0	11.5	393	
		150	108.9	140.0	77.8	16.7	56.2	11.1	392	
		200	111.3	139.3	79.6	16.7	56.3	11.3	401	
790°C 30mm	水冷	—	113.0	146.6	77.1	15.9	50.7	10.9	392	
		100	110.3	146.7	75.2	16.1	54.6	11.0	398	
		150	117.2	143.3	81.8	16.6	56.7	11.5	383	
		200	114.0	140.4	81.2	16.8	58.2	11.3	373	

14) C 鋼

化學成分 (%)								變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>		
0.08	0.14	0.51	0.011	0.011	0.23	740	835		

熱處理			機械的性質							
一次燒入	二次燒入	燒戻	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降/抗 (%)	伸 (%)	絞 (%)	シャルビ (kg/cm <sup>2</sup> )	ブリネ (硬度)	
	—	—	52.2	72.4	72.1	23.8	70.4	27.4	197	
890°C 30mm 油冷	760°C 30mm	油冷	34.8	50.7	68.6	33.1	76.8	不折	152	
		水冷	41.0	52.5	78.1	32.2	76.5	33.8	158	
		150°C 3h 空冷	油冷	36.0	63.6	56.6	31.7	67.0	26.3	184
			水冷	40.9	68.5	59.7	29.6	65.5	21.9	199
	800°C 30mm	油冷	—	36.7	64.8	56.6	30.1	68.7	24.5	179
			100	44.0	72.3	60.9	27.3	66.5	23.0	217

15) 3% Ni 鋼

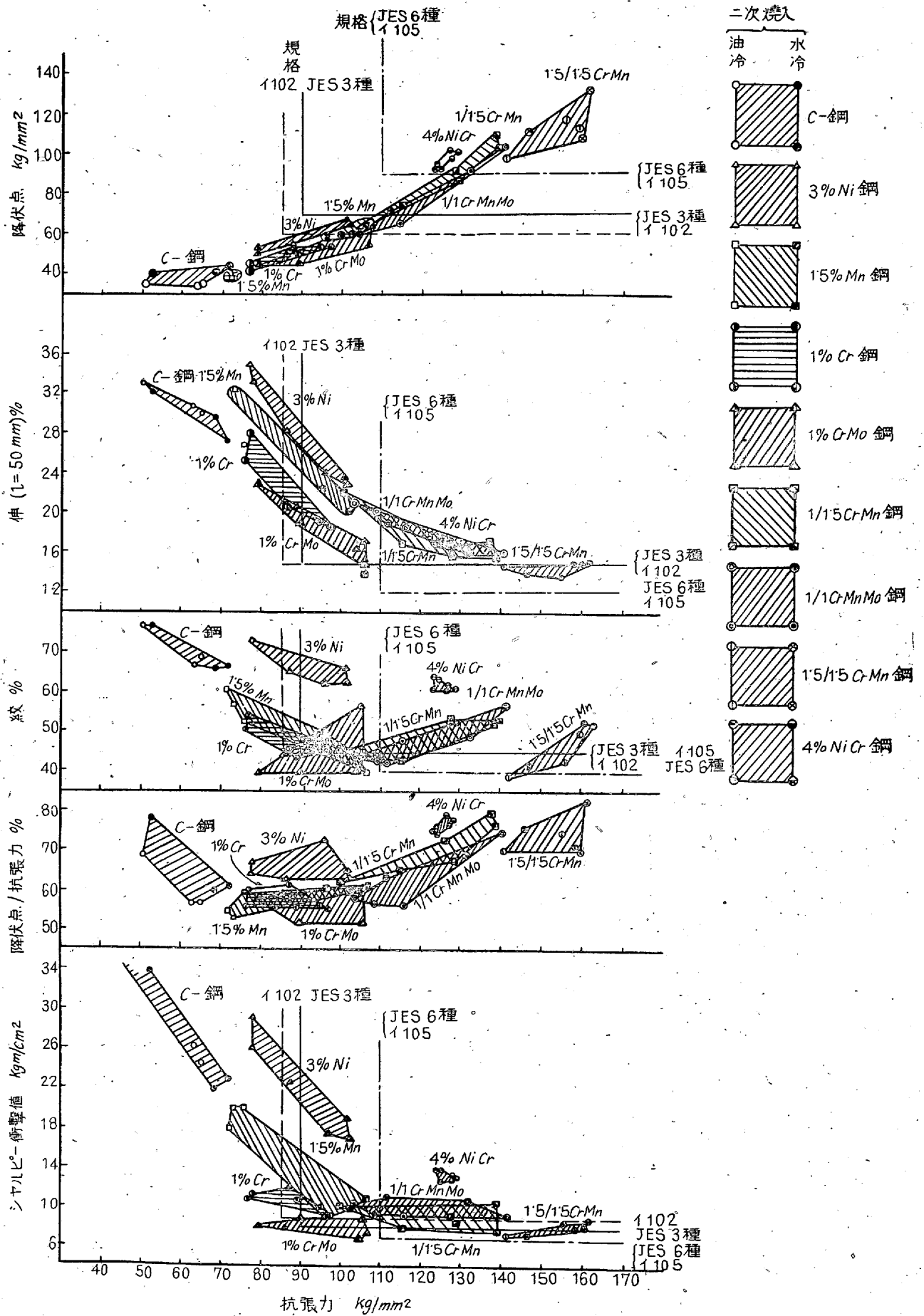
化學成分 (%)									變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	
0.14	0.45	0.59	0.014	0.005	0.16	3.28	0.38	700	800	

熱處理			機械的性質							
一次燒入	二次燒入	燒戻	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降/抗 (%)	伸 (%)	絞 (%)	シャルビ (kg/cm <sup>2</sup> )	ブリネ (硬度)	
	—	—	65.8	107.5	61.2	19.0	59.6	15.8	254	
850°C 30mm 油冷	720°C 30mm	油冷	54.5	87.3	62.4	28.5	65.5	22.6	249	
		水冷	65.6	96.7	67.8	24.2	62.1	17.7	269	
		150°C 3h 空冷	油冷	52.5	78.3	67.0	33.1	72.1	26.3	225
			水冷	64.0	101.9	62.8	23.0	62.5	17.0	278
	760°C 30mm	油冷	—	49.7	77.8	63.9	34.7	72.4	28.9	201
			100	65.4	101.4	64.4	23.5	66.0	18.8	268

16) 4% Ni Cr 鋼

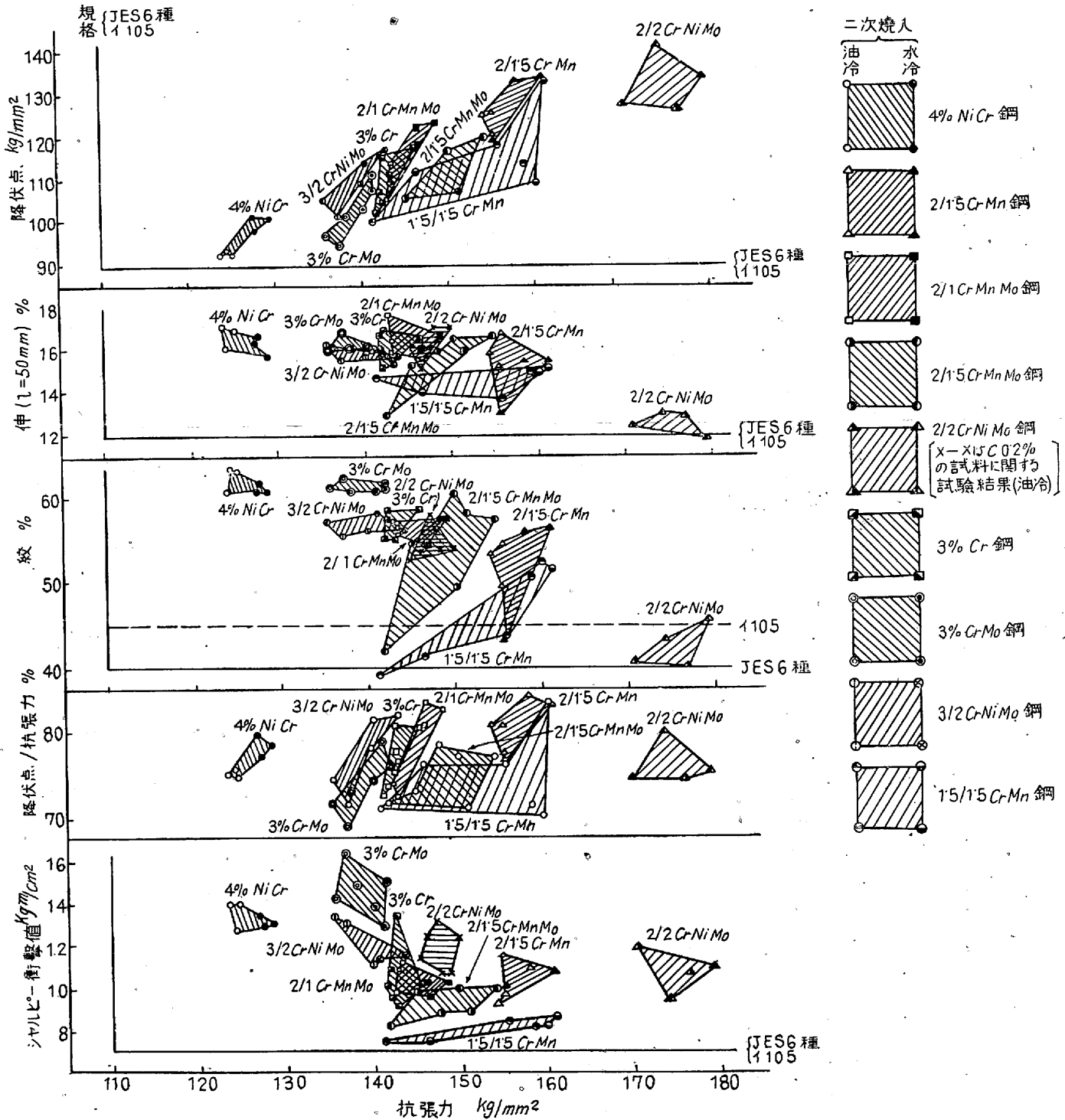
化學成分 (%)										變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ac <sub>1</sub>	Ac <sub>3</sub>	
0.11	0.30	0.53	0.016	0.006	0.11	4.39	0.90	0.36	720	785	

熱處理			機械的性質							
一次燒入	二次燒入	燒戻 (°C/3h)	降伏點 (kg/mm <sup>2</sup> )	抗張力 (kg/mm <sup>2</sup> )	降/抗 (%)	伸 (%)	絞 (%)	シャルビ (kg/cm <sup>2</sup> )	ブリネ (硬度)	
	—	—	84.0	121.1	69.4	17.9	62.9	12.9	355	
840°C 30mm 油冷	740°C 30mm	油冷	—	82.4	125.2	65.8	16.3	61.6	13.4	355
			100	93.7	124.6	75.2	17.3	63.2	13.5	361
			150	93.6	124.0	75.5	17.1	63.6	12.7	356
			200	96.1	125.0	76.9	17.4	63.4	12.7	362
	760°C 30mm	水冷	—	103.4	129.6	79.8	17.1	60.5	12.4	367
			100	99.4	128.9	77.1	16.9	61.9	13.5	363
			150	100.8	128.6	78.4	16.6	61.1	12.9	355
			200	102.9	127.4	80.8	16.4	61.6	13.3	368
	780°C 30mm	油冷	—	88.6	123.2	71.9	17.4	62.0	13.9	353
			100	93.8	123.6	75.9	17.2	62.1	13.2	347
			150	93.0	124.8	74.5	17.9	63.2	13.9	356
			200	93.0	123.7	75.2	17.3	63.6	13.8	362
780°C 30mm	水冷	—	99.9	127.9	78.1	19.3	61.5	12.3	360	
		100	98.9	126.9	77.9	16.3	62.5	13.2	363	
		150	98.2	127.6	76.9	17.6	61.9	12.9	368	
		200	103.1	125.4	82.2	16.5	60.9	13.1	356	
780°C 30mm	油冷	—	91.8	121.8	75.4	16.7	61.7	12.5	357	
		100	85.4	122.0	70.0	17.1	63.9	13.3	343	
		150	92.6	123.6	74.9	18.1	60.8	13.9	331	
		200	94.1	123.4	76.3	16.9	61.4	12.8	348	
780°C 30mm	水冷	—	88.6	128.5	68.9	17.9	61.2	12.8	364	
		100	99.8	127.7	78.2	16.3	61.3	13.3	363	
		150	101.5	127.3	79.7	17.3	61.6	13.4	356	
		200	102.0	127.4	80.1	17.3	61.8	12.8	361	



第1圖(A) 供試鋼の降伏点, 伸, 絞, 衝撃値と抗張力との関係





第1圖(B) 供試鋼の降伏點の伸、絞、衝撃値と抗張力との關係

量が可成り高く、他の鋼種との比較考察が困難なため、 $C\ 0.20\%$  のものに就き一部試験し圖中に記載した。今之に依つて抗張力を  $70\text{ kg/mm}^2$  以下、 $70\sim 100\text{ kg/mm}^2$ 、 $100\sim 130\text{ kg/mm}^2$ 、 $130\sim 160\text{ kg/mm}^2$  の4群に分ち、各鋼種の強度並に靱性を検討するに第5表の通りである。

之を要するに現行代用肌焼鋼たる  $Cr$  鋼及び  $Cr\ Mo$  鋼をして、 $Ni$  の添加なくして之を強力にするには  $Mn$  の添加或は  $Cr$  の増加により目的を達し得る。即ち

(1)  $1\% Cr$  鋼に  $Mn\ 1.5\%$  の添加は多少靱性を害するが抗張力を増加し、又  $1\% Cr\ Mo$  鋼に  $Mn\ 1.0\sim 1.2\%$  の添加は伸、シャルピー値の減少を伴はずして抗張力を高め何れも油二次焼入にて抗張力  $110\sim 120\text{ kg/mm}^2$ 、シャルピー  $8\sim 11\text{ kg/cm}^2$  位のものが得られる。

(2)  $Cr\ 2\%$  系では  $Mn\ 1\sim 1.2\%$  に  $Mo\ 0.3\%$  を添加することにより油二次焼入にて抗張力  $140\text{ kg/mm}^2$ 、シャルピー  $10\text{ kg/cm}^2$  位のものが得られる。

第5表 各鋼種の抗張力による分類

群	抗張力範囲	伸	絞	シャルピー値	降伏点	降/抗	摘 要	
I	70kg/mm <sup>2</sup> 以下	C 鋼						①此の群のものは二次焼入温度に關せず、水及び油冷の兩者の値の開きが概して大なり、之は質量効果の大なる爲なり。
II	70~100kg/mm <sup>2</sup> JES2種~JES5種 80~90~95~100 kg/mm <sup>2</sup>	3% Ni 鋼 1.5% Mn " 1% Cr " 1% Cr Mo "	同	同	同	同	②特にMn鋼, Ni鋼は油冷にて抗張力範囲の下限水冷では上限に位し、伸,シャルピー値に著しき開きを生ず。 ③Cr鋼, CrMo鋼では二次焼入温度及び冷却剤により抗張力に相當の開きを生ずるも、伸,シャルピー値には大なる變化を示さず。	
III	100~130kg/mm <sup>2</sup> JES5種~JES6種以上 100~110kg/mm <sup>2</sup>	4% Ni Cr 鋼 1/1.2 CrMnMo " 1/1.5 CrMn "	同	同	同	同	4% Ni Cr 鋼では二次焼入温度、水、油冷却の相違により抗張力、伸、シャルピー値に著しき開きなきも、1/1.5 CrMn 1/1 CrMnMo 鋼では抗張力の上下限間に30~40kg/mm <sup>2</sup> の開きを生じ、質量効果大なる事が窺はれる、一方伸、シャルピー値には大なる變化を認めず。	
IV	130~160kg/mm <sup>2</sup>	④略同等 { 2/1CrMnMo鋼 3% Cr Mo " 2/2CrNiMo " 3/2%CrNiMo " 3% Cr " ⑤ 2/1.5 Cr Mn " 2/1CrMnMo " ⑥に比し稍劣る ⑦ 1.5/1.5 CrMn "	⑧3% Cr Mo 鋼 ⑨ 3/2CrNiMo " 稍劣る 3% Cr " 2/2CrNiMo " 2/1CrMnMo " ⑩ 2/1.5 Cr MnMo " 2/1.5 Cr Mn " ⑪と同等なるも區々となる傾向あり ⑫ 1.5/1.5 CrMn "	⑬3% Cr Mo 鋼 ⑭ 3/2%CrNiMo " ⑮ 2/2%CrNiMo " 3% Cr " ⑯ 2/1CrMnMo " 2/1.5 CrMn " ⑰ 2/1.5 Cr MnMo " 1.5/1.5CrMn "	⑱2/1.5 Cr Mn 鋼 ⑲ 2/1.5 Cr MnMo " ⑳ 3/2%CrMnMo " 3% Cr " ㉑ 1.5/1.5CrMn " ㉒ 3% Cr Mo	同 左	3の100~130kg/mm <sup>2</sup> 群に比し一般に焼入温度並に水油冷却による數値のばらつき少く質量効果の影響の少き事を知る。次に之等の中Mn1.5%系のものにはばらつき傾向他のものに比し比較的大なり。	

(3) Cr 1% 及び 2% 系に於て Mn 1.5% の添加は抗張力を高めるが、シャルピー値の低下の傾向が大となるから、Mn の添加は最大 1.0~1.2% 位が適當と考へる。

(4) Cr の高い 3% Cr 系統のものは含マンガン 2% Cr 系のものに比し、幾分抗張力は劣るがシャルピー値は高い。即ち抗張力 135~140 kg/mm<sup>2</sup>、シャルピー値 10~15 kg/cm<sup>2</sup> を有す。特に 3% Cr Mo 鋼は含ニッケルの 2/2 Cr Ni Mo 鋼、3/2 Cr Ni Mo 鋼よりも、機械的性質は優秀である。

(5) Mo 0.3% の添加は Cr Mn 鋼に於ては Mn によるシャルピー値の低下を防止するに役立つ、3% Cr 鋼に於てはシャルピー値を増大せしむ。但降伏點は若干低下の傾向がある。

3. 3% Ni 鋼及び 4% Ni Cr 鋼と代用無 Ni 鋼との比較對照 今本實驗結果の機械的性質より 3% Ni 及び 4% Ni Cr 鋼に代用し得る鋼種を挙げると第6表の通りである。

4. 質量効果に関する實驗

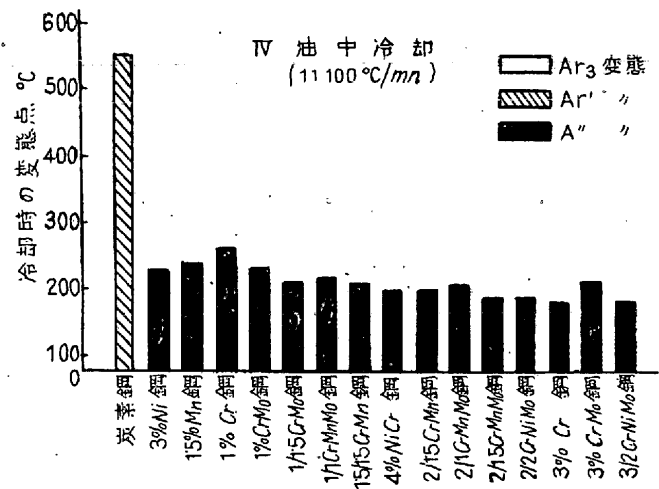
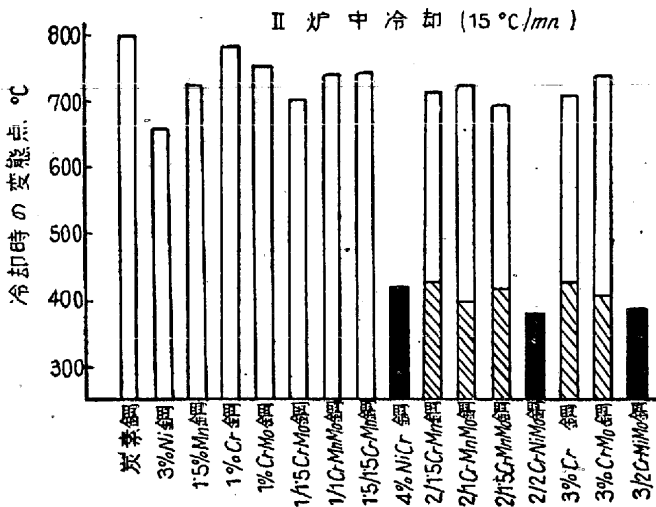
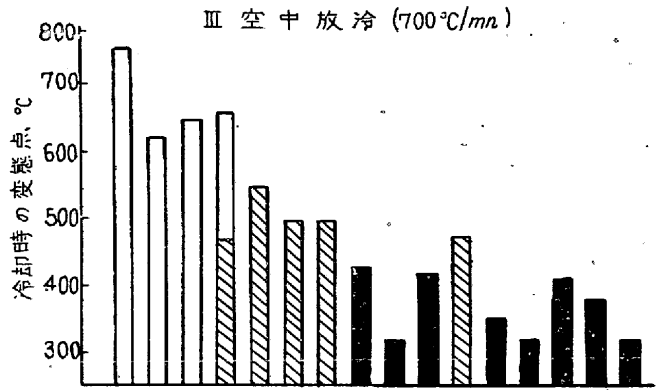
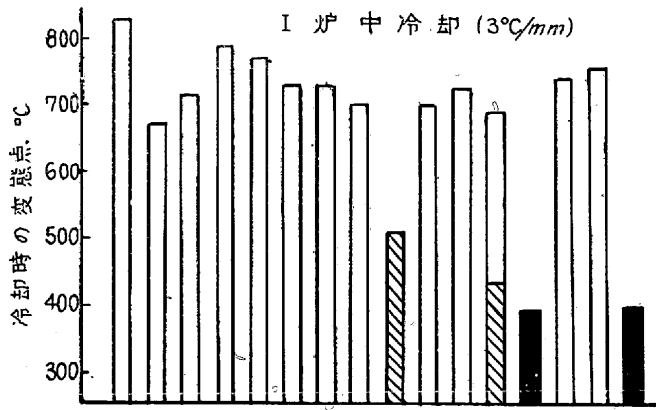
1. 實驗要領 Ni Cr 鋼に於ける Ni の作用で最も問題になるのは、Ni 含量の高い鋼種は大型鋼材でも其中心迄

第6表 機械的性質より見たる含ニッケル鋼と無ニッケル鋼の比較對照表

含ニッケル鋼	代用順位	無 Ni 鋼 (代用鋼)		摘 要
		二次焼入油冷	水冷	
JES 3 種 3% Ni 鋼 二次焼入水	1	1/1.2%CrMnMo鋼	1.5% Mn 鋼 1% Cr 鋼	規格値に對し十分適合せしめ得
	2	1/1.5 Cr Mn 鋼	1%CrMo鋼	1に比し靱性稍劣る
	3	1.5/1.5 Cr Mn 鋼		抗張力高きも靱性可成り悪し
JES 6 種 4% Ni Cr 鋼 二次焼入油	1	3% Cr Mn 鋼 3% Cr Ni Mo " 2/2 Cr Ni Mo "	—	4%ニッケルC鋼と同等又は夫以上に優秀
	2	3% Cr " 2/1 Cr Mn Mo " 2/1.5 Cr Mn Mo " 2/1.5 Cr Mn "	—	靱性稍劣るも規格値に對し猶十分なるもの
	3	1.5/1.5 Cr Mn "		靱性更に悪し
2/2CrNiMo鋼 3/2CrNiMo鋼		2/1 Cr Mn Mo " 3% Cr " 3% Cr Mo "	—	シャルピー値稍低し殆ど同等更に優秀

充分に焼が入ると云ふ所謂質量効果の小さい點である。無 Ni 鋼を考へると普通の機械的性質から見て充分代用し得ると考へられるものでもこの質量効果の問題を充分検討する必要がある。依つて第2表に示す 16 チャージの同供試鋼種に就き次の2種の實驗を行つた。

2. 實驗結果



第2圖 冷却速度に依る變態點の降下狀況

[A] 冷却速度の變化による Ar 變態溫度—測定 佐藤式自記膨脹計を用ひ、各鋼種總て AC<sub>3</sub>+50°C より緩徐冷却 (3°C/mm 及び 15°C/mm)、空冷 (約 700°C/mm) 及び油冷 (約 11,100°C/mm) の 3 通りに冷却速度を變へて Ar 變態を測定し、同時に變態測定試片に就き硬度測定並に檢鏡に依つて Ar 變態を吟味した。その結果を棒線を以て第 2 圖に示した。即ち

a) 冷却速度 3°C/mm の場合

- (イ) Ar'' 變態を生じ焼入能大なるものは 2/2 Cr Ni Mo 鋼, 3/2 Cr Ni Mo 鋼の 2 種
- (ロ) Ar' 變態を生じ、中間組織となるもの 4%NiCr 鋼, 2/15 Cr Mn Mo 鋼の 2 種で他は何れも Ar<sub>1</sub> 變態のみを生ずる。

b) 冷却速度 15°C/mm の場合

- (イ) Ar'' 變態を生ずるもの
  - 4% Ni Cr 鋼
  - 2/2 Cr Ni Mo 鋼
  - 3/2 Cr Ni Mo 鋼

(ロ) 一部に Ar' 變態を生ずるもの

- 2% Cr 系の Mn Mo 鋼全部
- 3% Cr 鋼
- 3% Cr Mo 鋼

e) 冷却速度 700°C/mm (空中冷却) の場合

(イ) Ar'' 變態を生ずるもの

- 15/15 Cr Mn 鋼
- 2/15 Cr Mn 鋼
- 2/15 Cr Mn Mo 鋼
- 2/2 Cr Ni Mo 鋼
- 3% Cr 鋼
- 3% Cr Mo 鋼
- 3/2 Cr Ni Mo 鋼
- 4% Ni Cr 鋼

(ロ) Ar' 變態を生ずるもの

- 1% Cr 鋼 (一部 Ar<sub>1</sub> を生ず)
- 1% Cr Mo 鋼
- 1/15 Cr Mo 鋼

1/1.2 Cr Mn Mo 鋼

2/1 Cr Mn Mo 鋼

(ハ) 1.5% Mn, 3% Ni, C 鋼は空中放冷では Ar<sub>1</sub> 變態を生じ中間變態を起さない。

d) 冷却速度 11 100°C/mm (油中冷却) の場合

C 鋼のみ一部に Ar<sub>1</sub> を有する Ar' 變態を生ずるが他は何れも Ar'' 變態のみを生ず。

以上を要するに 1% Cr 系及び 1% Cr-Mn 系のものは 3% Ni 鋼以上の焼入能を有することゝ含 Ni-2% Cr-3% Cr 鋼は 4% Ni-Cr 鋼と同様或はそれ以上の焼入能を有するが、2% Cr-Mn 系及び 3% Cr 系は稍之に劣る事が認められる。

[B] 鋼材の大きさの變化に伴ふ焼入断面硬度の分布狀況の變化測定—本試験には各鋼種の 150 kg 丸型鋼塊より第 3 圖の如き徑 25, 50, 100 mm の試材を鍛造し、(鍛鍊係數 64, 16, 4) 夫々焼準後 Ac<sub>3</sub>+50°C より水及び油に焼入したる後鍛材中央より 20mm 厚さの圓板を切斷採取し、その横斷面をヴィツカース硬度計を以て約 2mm 置きに測定した。即ち断面硬度の分布狀況より硬化の深度を知る方法を採用した。

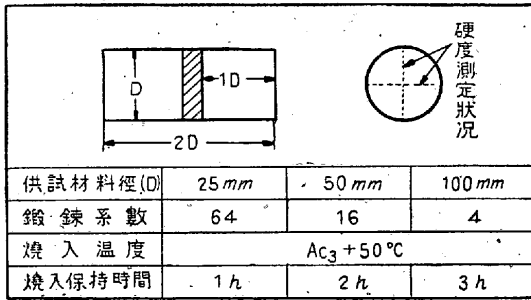
第 4 圖は [I] 1% Cr-Mo 鋼, [II] 1/1.5 Cr Mn 鋼及び [III] 2/2 Cr-Ni-Mo 鋼に就きその断面硬度分布曲線を例示したもので略々他の鋼種の硬度分布も之等 3 種の形態の何れかに分類し得る。

即ち

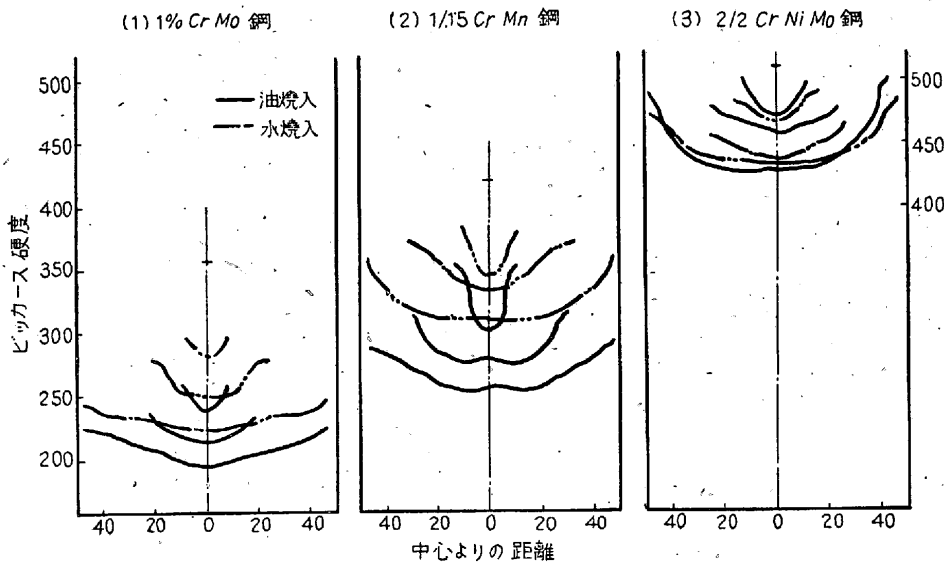
[I] の場合 焼入能大ならざる爲周邊部の硬度比較的低く、周邊部及び中心部の硬度差大ならず。同時に水及び油の兩硬度曲線が比較的重なり合ふもの C 鋼, 1% Cr 鋼, 1% Cr-Mn 鋼。之に屬す

[II] の場合 之は [I] の場合より周邊部の焼入能大となり油、水冷の如何に關せず周邊部、中心部との硬度差が著しく大となると同時に油冷、水冷の兩硬度曲線に可成りの隔りを生ずるも、此群は更に次の 2 類に分た

第 3 圖



第 4 圖 焼入断面硬度分布曲線



- |       |   |        |  |         |   |
|-------|---|--------|--|---------|---|
| [I] 群 | <ul style="list-style-type: none"> <li>C 鋼</li> <li>Cr 鋼</li> <li>CrMo 鋼</li> </ul> | [II] 群 | <ul style="list-style-type: none"> <li>a                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1.5% Mn 鋼</li> <li>3% Ni 鋼</li> <li>1/1.5 CrMn 鋼</li> </ul> </li> <li>b                             <ul style="list-style-type: none"> <li>1/1.2 CrMnMo 鋼</li> <li>1.5/1.5 CrMn 鋼</li> <li>2/1.5 CrMn 鋼</li> <li>2/1.0 CrMnMo 鋼</li> <li>2/1.5 CrMnMo 鋼</li> </ul> </li> </ul> | [III] 群 | <ul style="list-style-type: none"> <li>2/2 CrNiMo 鋼</li> <li>3% Cr 鋼</li> <li>3% CrMo 鋼</li> <li>3/2 CrNiMo 鋼</li> <li>4% NiCr 鋼</li> </ul> |
|-------|---|--------|--|---------|---|

れる。

〔II〕 a 周辺部の硬化能が大となり内外の硬度差〔I〕より大となり、油及び水冷の兩硬度曲線に幾分開きを生ずる場合

1.5% Mn 鋼 (油冷の場合には〔I〕に屬す) 3% Ni 鋼, 1/1.5 Cr Mn 鋼. 之に屬す

〔II〕 b 〔II〕 a よりも周辺部焼入能大となり、中心部との硬度差大となると同時に水、油冷の硬度曲線の開きも著しくなるもの。

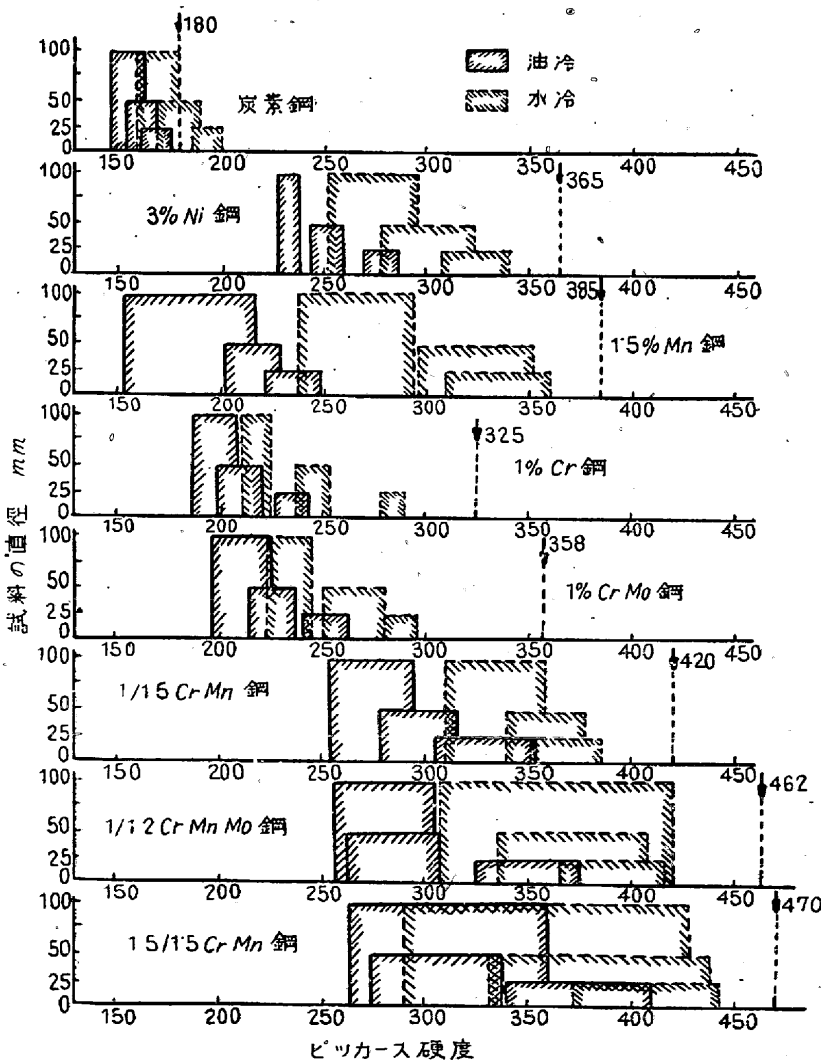
1/1.2 Cr-Mn-Mo 鋼 (但油冷の場合は 1/1.5 Cr Mn 鋼に相似す), 1.5/1.5 Cr Mn 鋼, 2/1.5 Cr Mn 鋼 2/1 Cr Mn Mo 鋼, 2/1.5 Cr Mn Mo. 之に屬す

〔III〕 の場合 〔II〕 の場合よりも焼入能更に大となり外部のみならず内部迄も硬度大となり周辺部と中心部との硬度差が比較的小となり、同時に水及び油冷の硬度

第7表 断面硬度の質量效果より見たる含

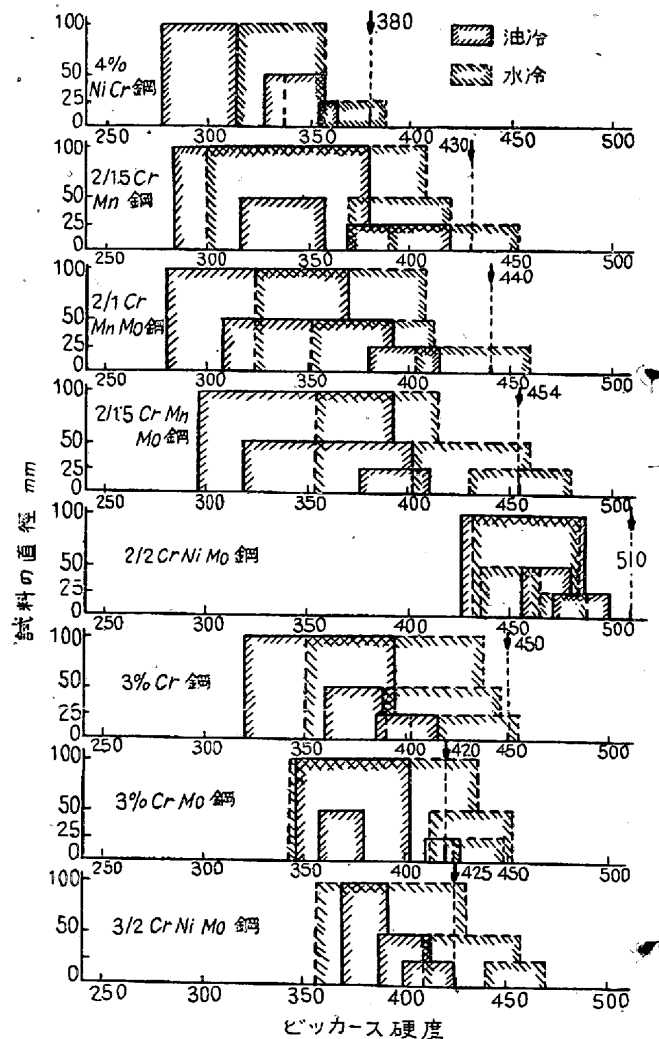
Ni 鋼と無 Ni 鋼との比較対照表

含 Ni 鋼	鋼材 (徑)	無 Ni 鋼 (代用鋼)		摘要
		水 冷	油 冷	
3% Ni 鋼 油	25mm -100mm	1% Cr 鋼 1% Cr Mo 鋼 1.5% Mn 鋼	1/1.5 Cr Mn 鋼 1/1.2 Cr Mn Mo 鋼 1.5/1.5 Cr Mn 鋼	
4% Ni Cr 鋼 油	25mm -100mm	—	2/1.5 Cr Mn 鋼 2/1.0 Cr Mn Mo 鋼 2/1.5 Cr Mn Mo 鋼	内外の硬度鋼可成りあり
		—	2/2 Cr Ni Mo 鋼 3% Cr 鋼 3% Cr Mo 鋼 3/2 Cr Ni Mo 鋼	内外の硬度差比較的小し
2/2 Cr Ni Mo 鋼 3/2 Cr Ni Mo 鋼	25mm	—	3% Cr 鋼 3% Cr Mo 鋼	
	50mm	—	3% Cr 鋼 3% Cr Mo 鋼	
	100mm	3% Cr 鋼 3% Cr Mo 鋼	—	



第5圖 種々の直径に於ける一次焼入後の断面硬度状態 (I)

〔↓は佐藤焼入試料 (直径 5mm) の油焼入硬度〕



第5圖 種々直径に於ける一次焼入後の断面硬度状態 (II)

〔↓佐藤式焼入試料 (直径 5mm) の油焼入硬度〕

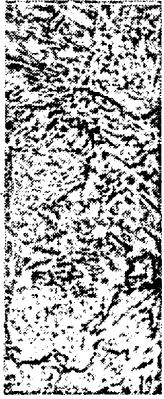
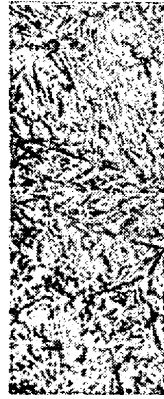

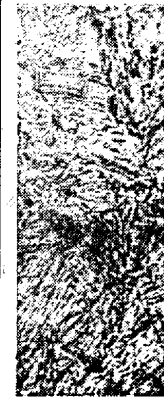
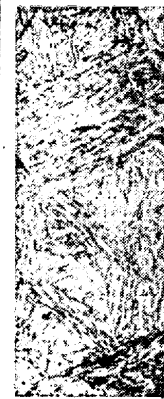
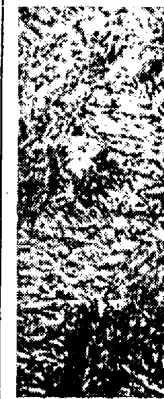

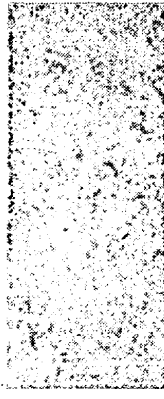
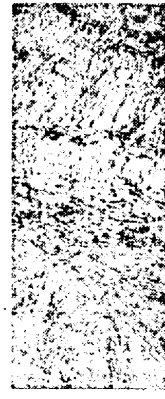

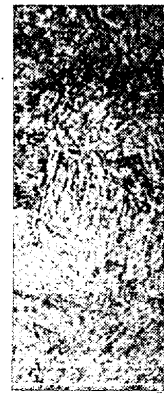
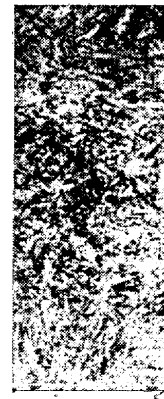
(1) 1% Cr-Mo 鋼

焼入	油			水		
	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ
試料直径	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ
グイソカーズ硬度	226	235	262	244	282	296
組織	T+F(少量)	T	T	T+F(少量)	T	T+M(少量)
周縁部						
グイソカーズ硬度	196	214	238	224	251	282
組織	T+F	T+F	T	T+F	T+F(少量)	T
中心部						

第6圖 質量による顕微鏡組織の變化(I) (ピクリン酸アルコール腐蝕) × 400

[F: フェライト T: トルースタイト M: マルテンサイト A: オーステナイト]

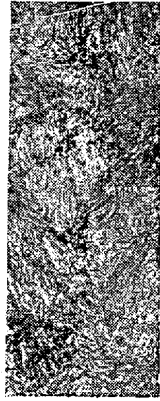
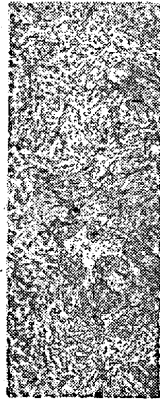
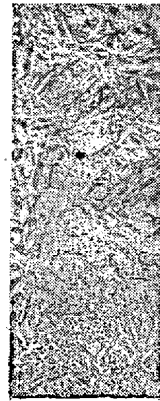
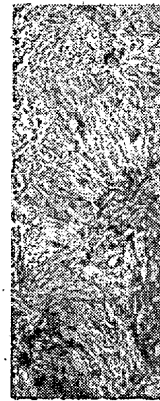
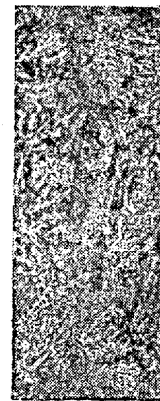
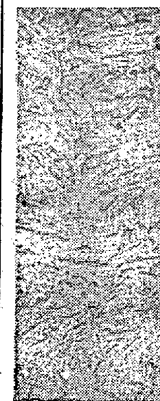

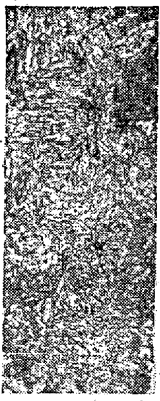
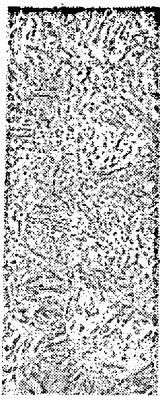



## (II)a 1/5% CrMn 鋼

焼入	油 冷			水 冷		
試料直径	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ
ウイツカーズ 硬度	287	318	354	358	378	385
組織	T	T+M (少量)	M+T	M+T	M+T	M+T
周 縁 部						
ウイツカーズ 硬度	253	278	305	309	331	352
組織	T+F (少量)	T	T+M (少量)	T	T	M+T
中 心 部						

第6圖 質量による顕微鏡組織の象化 (II) (ピクリン酸アルコール腐蝕) × 400

[F: フコライト T: トルースタイト M: マルテンサイト A: オーステナイト]

(II)b 31% CrMnMo鋼

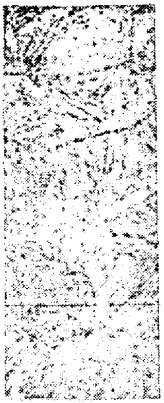
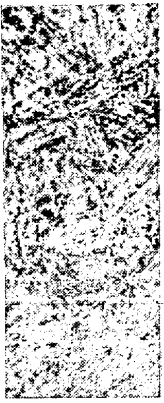

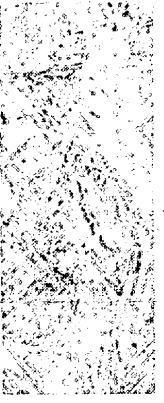
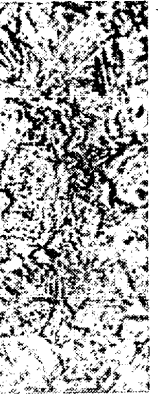

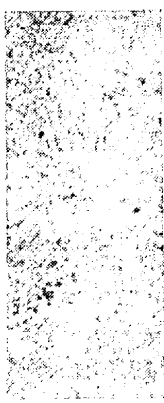

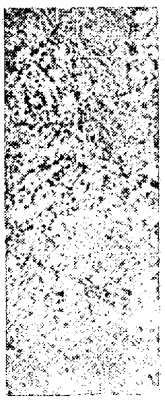

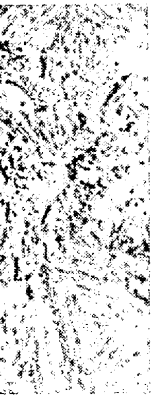
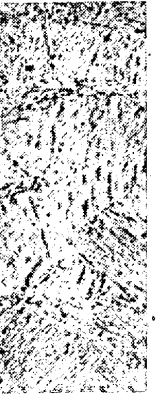
焼入	油			水		
	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ
ウィツカー入硬度	370	392	413	408	413	460
組織	T+M	T+M	M	M+T	M+T	M
周縁部						
ウィツカー入硬度	280	307	381	325	351	402
組織	T	T	T+M	T	T+M	M
中心部						

第6図 質量による顕微鏡組織の變化(III)(ピクリン酸アルコール腐蝕) × 400

[F: フェライト T: トルースタイト M: マルテンサイト A: オーステナイト]



## 〔III〕 3% CrMo鋼

焼入	油			水			
	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	
試料直径	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	100 m/m φ	50 m/m φ	25 m/m φ	
ヴァイツカーズ硬度	402	380	427	436	451	448	
組織	M	M	A+M	M	M+A	M+A	
周 縁 部							
	ヴァイツカーズ硬度	346	358	410	342	412	423
	組織	T+M	T+M	M	M+T(少量)	M	M
中 心 部							

第6圖 質量による顕微鏡組織の變化(IV) (ピクリン酸アルコール腐蝕) ×400

〔F: フェライト T: トルースタイト M: マルテンサイト A: オーステナイト〕

曲線が比較的重なり合ふ傾向を有するもの。

2/2 Cr Ni Mo 鋼, 3% Cr 鋼, 3% Cr Mo 鋼, 3/2 Cr Ni Mo 鋼, 4% Ni Cr 鋼, 之に属す

第5圖は周辺部(外周より2mm 内部断面)と中心部との硬度差の鋼材の大きさに依る變化を各鋼種別に示したもので上述の關係がよく認められる,

要するに質量効果を断面硬度のみを以て判定することは當を得たものとは言へないが本實驗結果に徴し, 單に断面硬度に依る硬化の狀況より3% Ni 鋼及び4% Ni Cr 鋼を置換し得る鋼種を判定すれば大體第7表の通りにして3% Ni 鋼は1% Cr 鋼及び1.5% Mn 鋼系統のものにて代用し得, 4% Ni Cr 鋼は2% Cr Mn 鋼のもので代用し得ることが窺はれる。

第6圖は質量に依る顕微鏡組織の變化を前記の分類に據る代表的4鋼種に就て例示したもので, 試料の寸法並に焼入後の種類に依る内外組織の變化より質量効果の大小を判定する事が出来, 前述の断面硬度の分布狀況と比較對照して焼入の深度がよく一致してゐる。

即ち〔I〕群に属する1% Cr Mo 鋼では何れの場合にもトルースタイトを生じ50mmφの中心部及び100mmφでは内外共フェライトを混在する。〔II〕群の(a)に属する1/1.5% Cr Mn 鋼は25mmφでは, 何れもマルテンサイト+トルースタイト, 50mmφでは外部はマルテンサイト+トルースタイト, 内部はトルースタイトのみを生じ, 100mmφでは内外共トルースタイトとなり, 油冷では内部に少量の遊離フェライトを混在する。又〔II〕群の(b)に

第7圖 滲炭試験要領

**I 試験片の調製**  
 25mmφ圧延素材 焼準 低温焼鈍 供試材  
 $\rightarrow AC_3 + 60^\circ C/h$  空冷  $\rightarrow 650^\circ C/3h$  空冷  $\rightarrow 15mm\phi$   
 170mm  $\rightarrow$  55mm

**II 滲炭の方法**

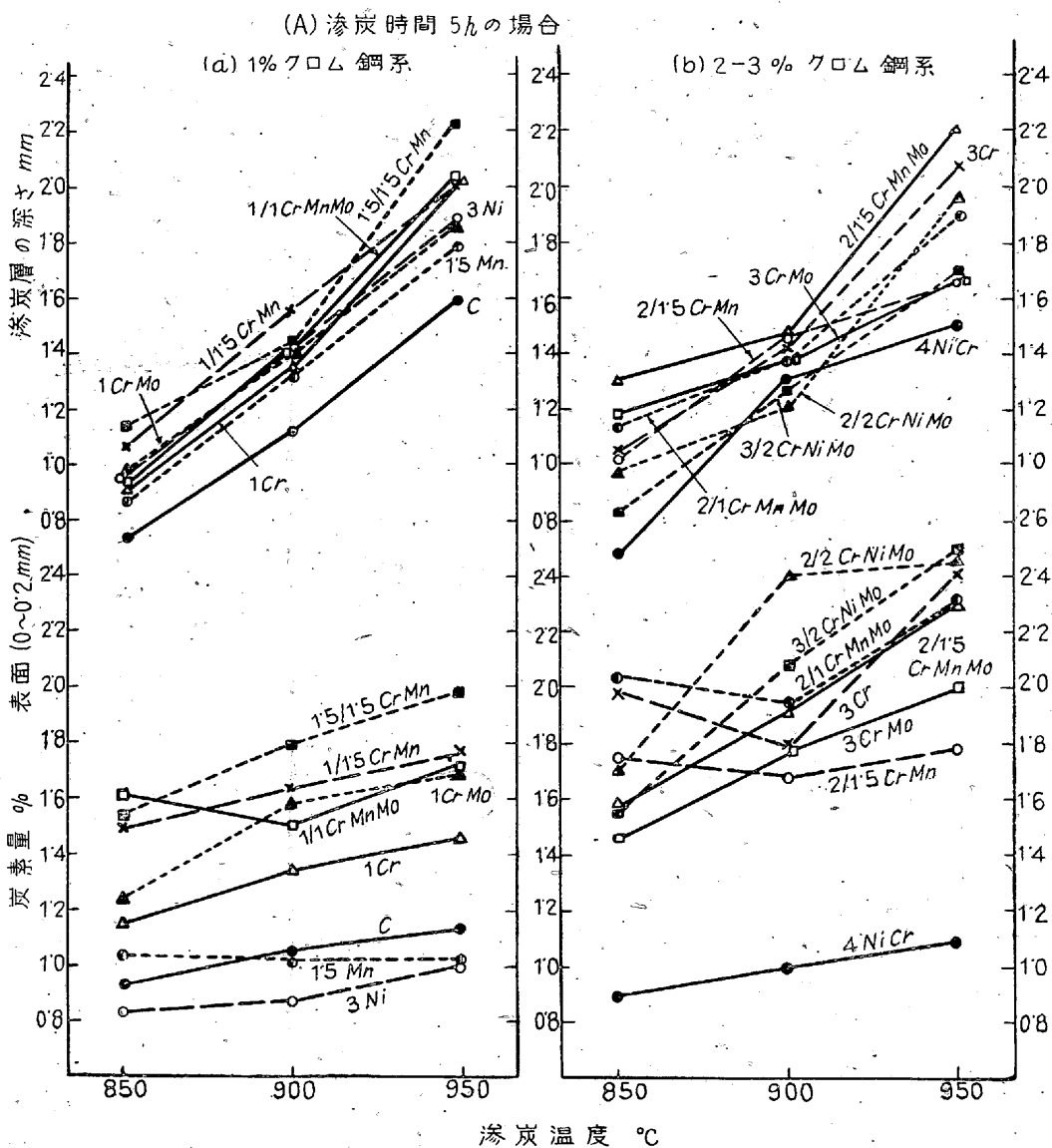
**III 滲炭剤**

	C	P	S	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Ba	Na	Ash	CN	配合比 (%)
木炭	84.70	0.066	0.082	6.02	2.88	なし	0.98	5.42	反応なし	70
BaCO <sub>3</sub>	-	-	-	0.52	17.75	65.19	1.17	-	反応あり	30

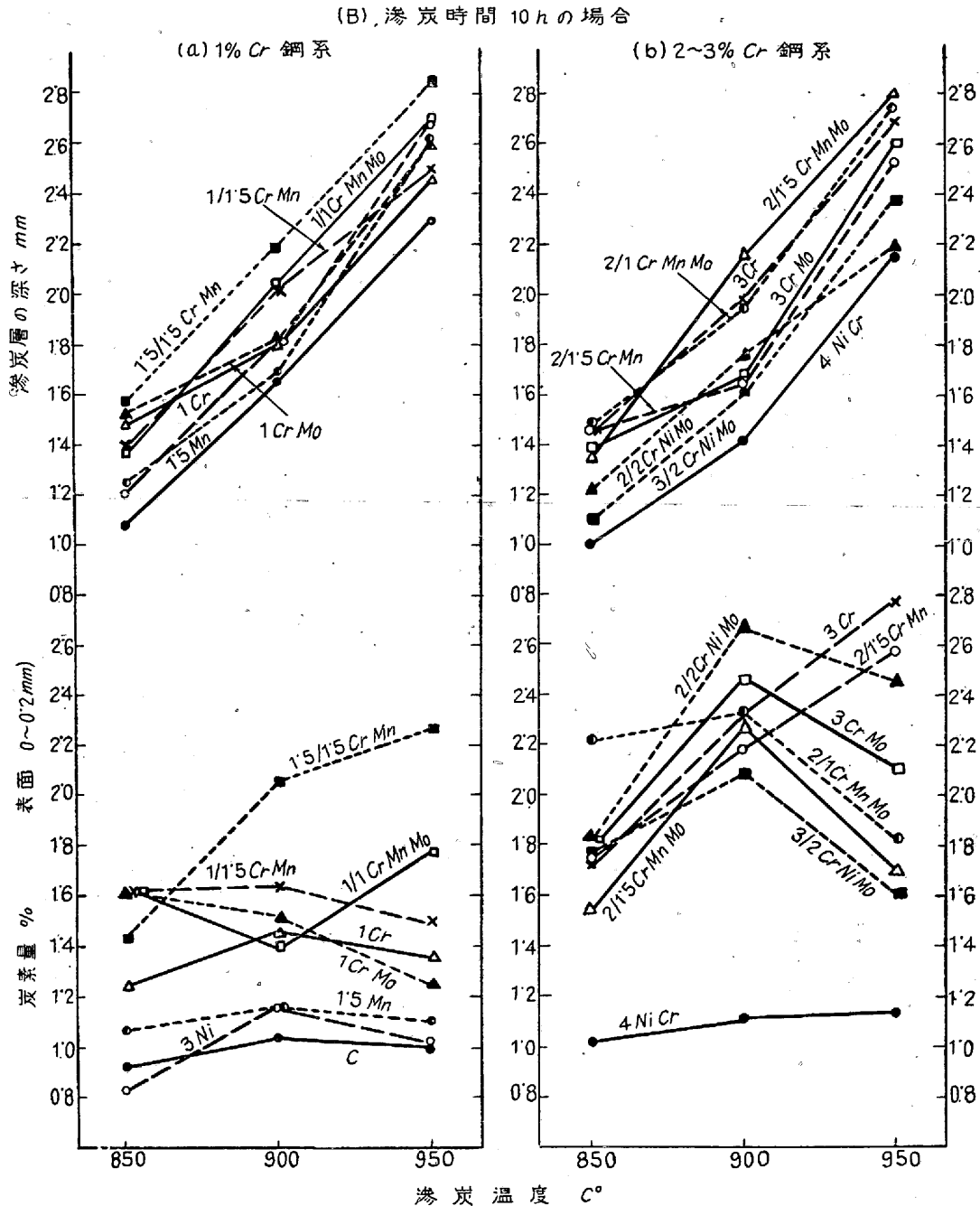
**IV 滲炭条件**

温度: 850 900 950°C  
 時間: 5 10 h  
 冷却: ケースの儘炉中冷却

**V 光輝焼鈍 (600°C/3h空冷)**



第8圖 滲炭温度、時間に依る滲炭性の變化



第8圖 滲炭温度時間に依る滲炭性の變化(B)

屬する 2/1% Cr Mn Mo 鋼では 25mmφ の場合殆どマルテンサイトのみを生じ、50mmφ 及び 100mmφ ではトルースタイトを混在するも遊離フェライトは認められない。〔III〕群の 3% Cr Mo 鋼では更に焼入能大となり外部は何れもマルテンサイト乃至マルテンサイト+オーステナイト、内部は 25mmφ ではマルテンサイトのみ、50mmφ 及び 100mmφ ではマルテンサイト乃至マルテンサイト+トルースタイトとなる。

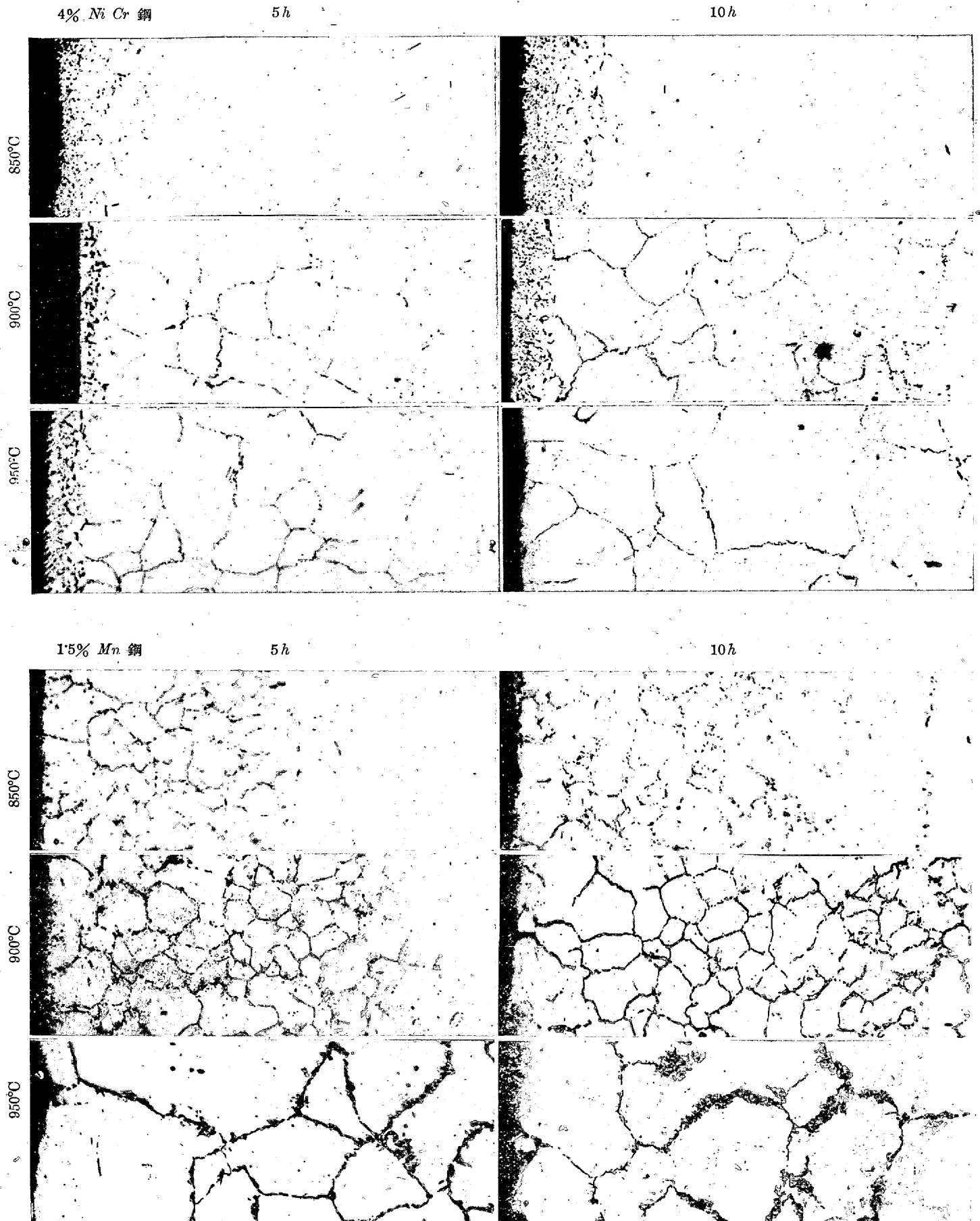
尙實用上重要な鋼材断面内外部の機械的性質の變化より見たる質量効果に就ては、現在實驗中であるので、次回に

譲り報告することとした。

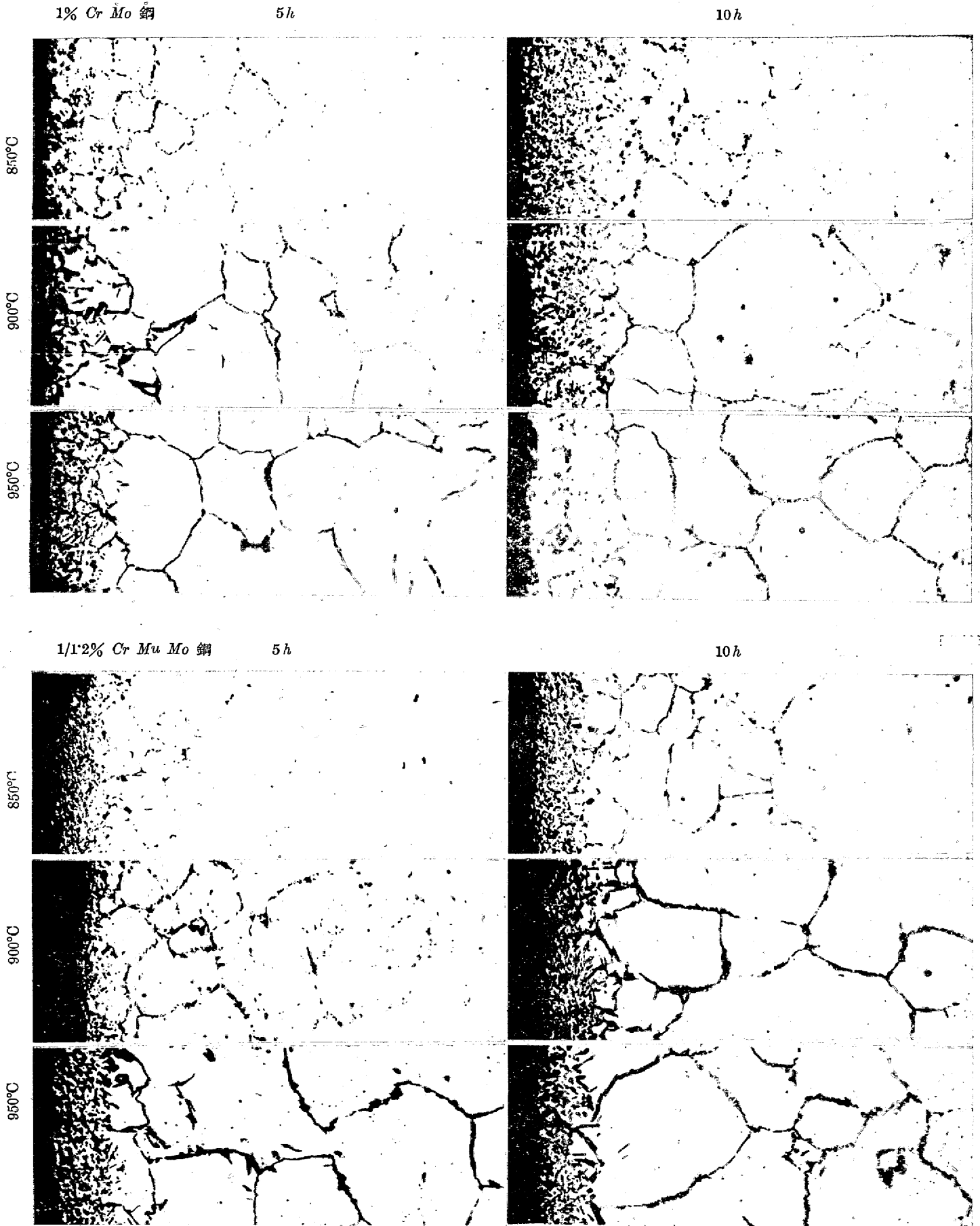
### 5. 滲炭に関する實驗

以上機械的性質並に質量効果の見地より夫々適當なる熱處理を行ふことにより、無 Ni 或は Ni を節減せる含 Mo 鋼或は無 Mo 鋼は含 Ni 鋼に匹敵する強度靱性のものが得られ、代用し得ることを知つたが、更に肌焼鋼にして必要な條件たる滲炭に関する次の諸性質を檢討した。

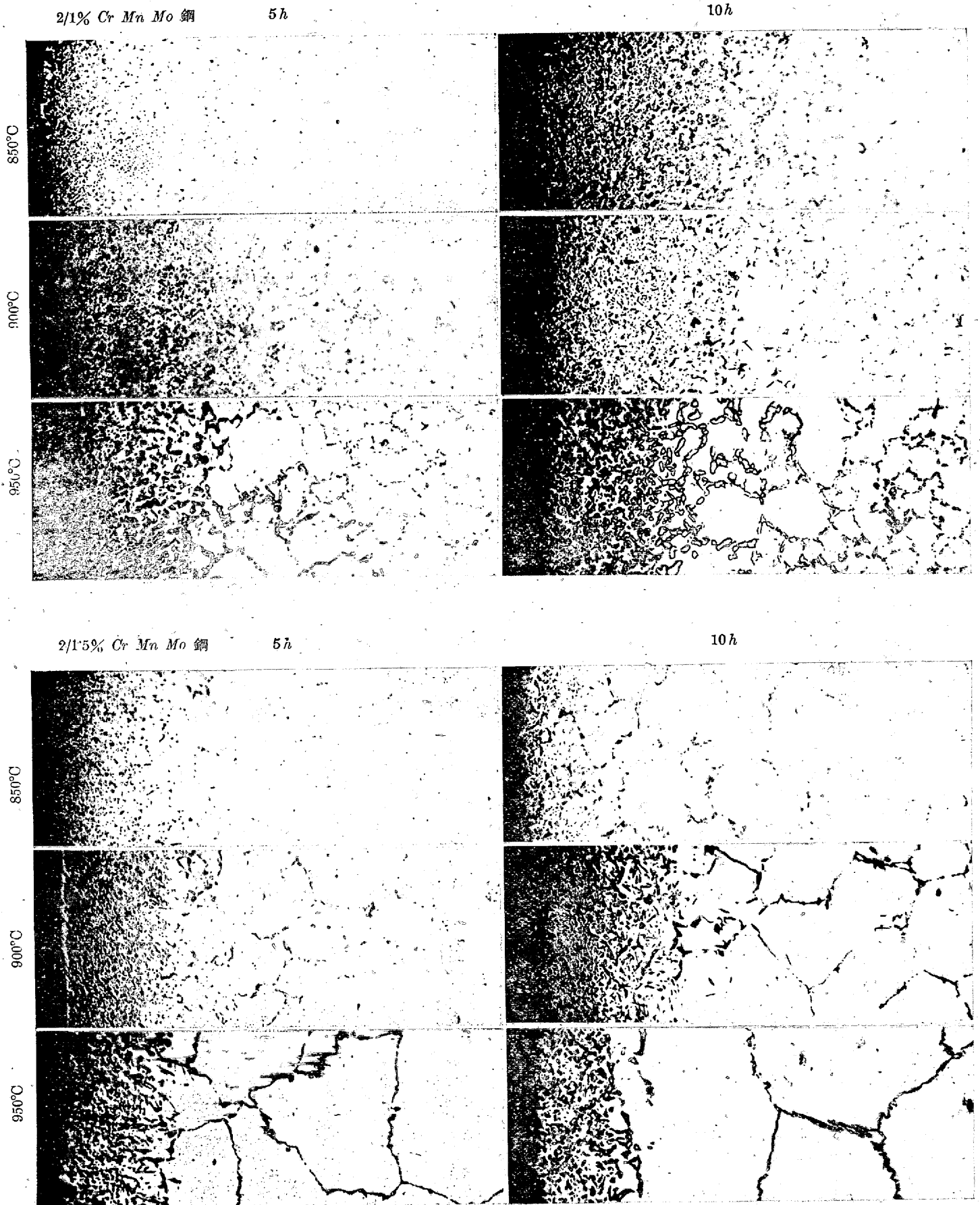
- a) 固體滲炭剤による滲炭の能力
- b) 滲炭層の組織
- c) 滲炭硬化層の硬度並に硬化狀況



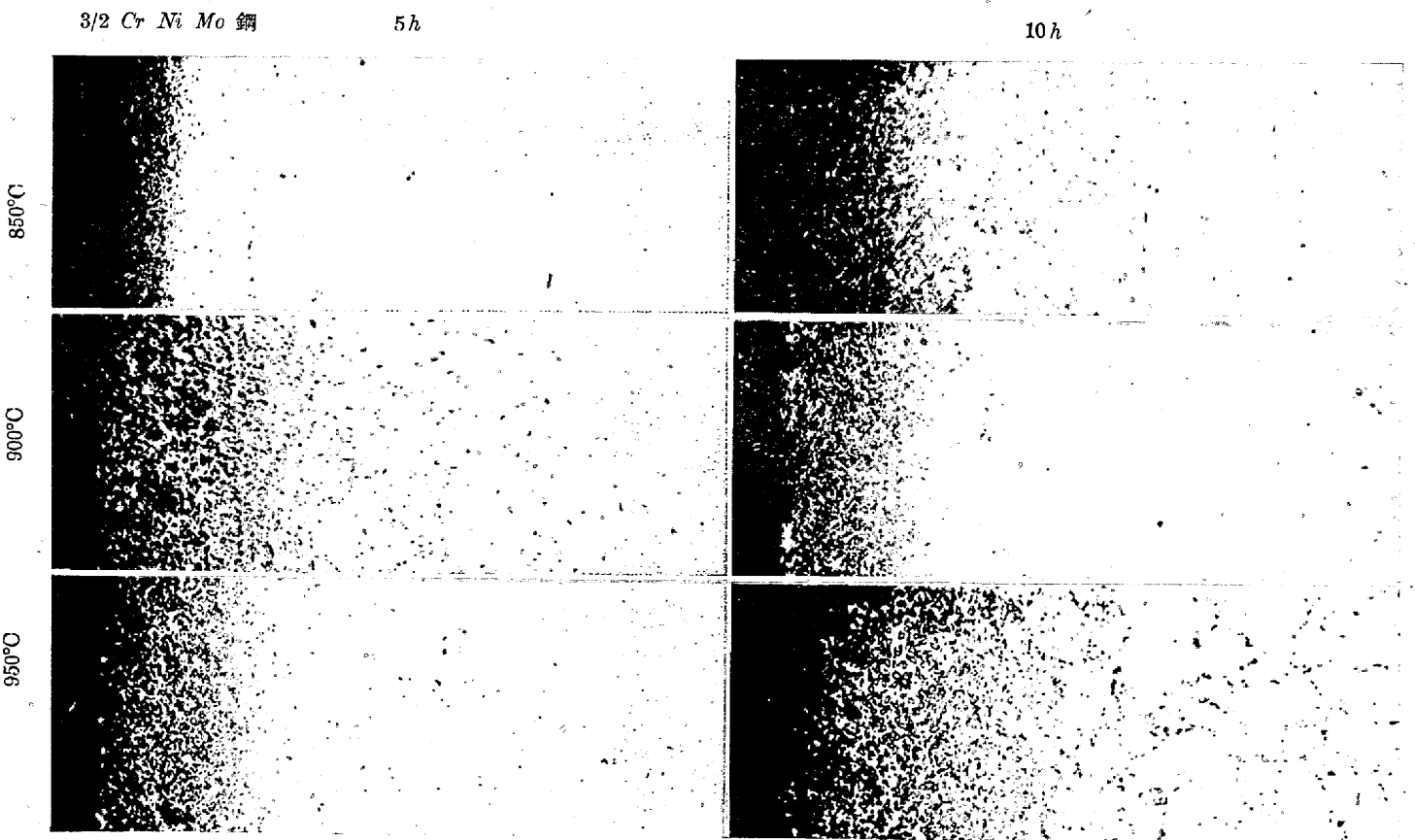
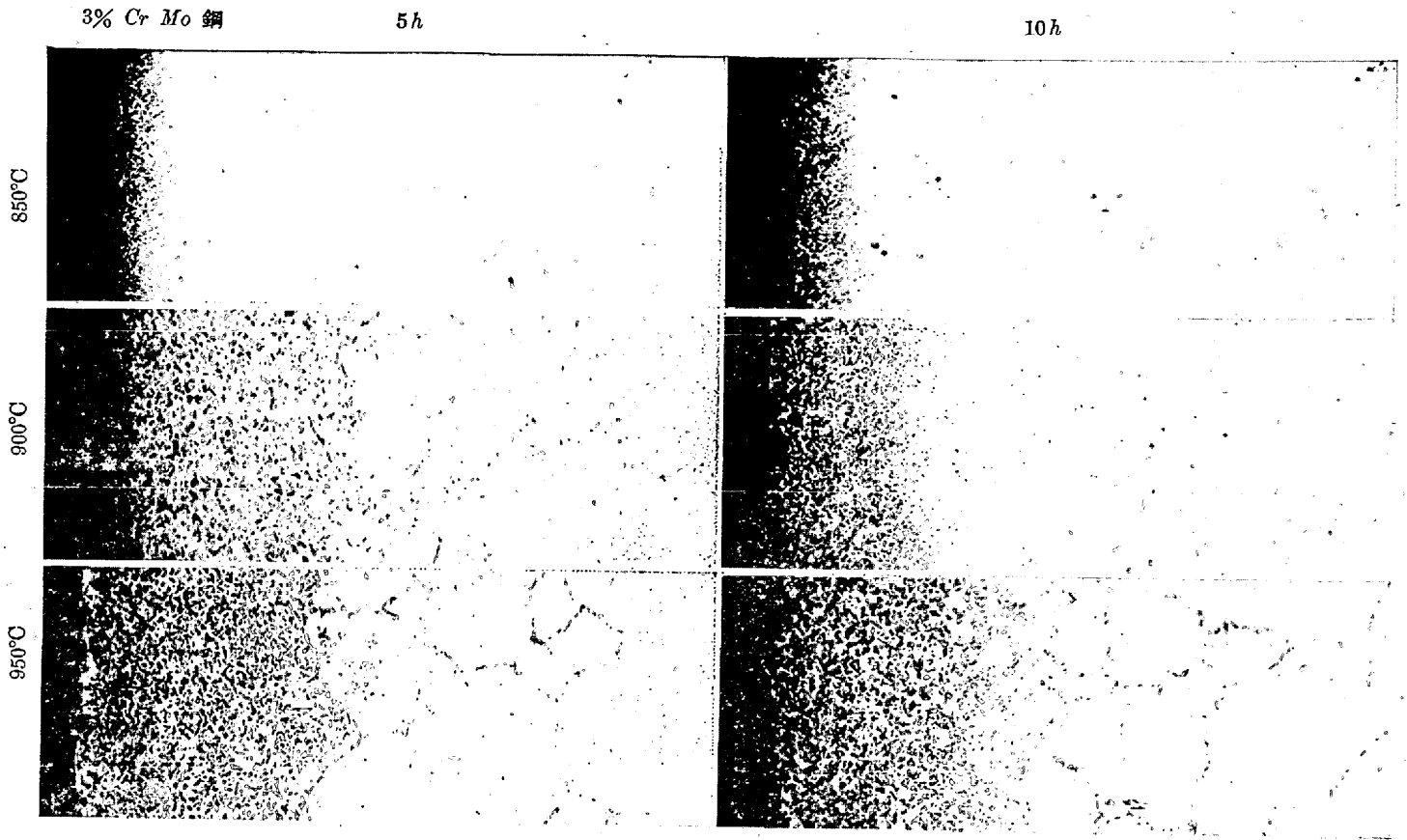
第9圖 滲炭層の炭化物析出状況 (ピクリン酸ソーダ腐蝕 × 150) (其I)



第9圖 滲炭層の炭化物析出状況 (ピクリン酸ソーダ腐蝕 × 150) (其II)



第9圖 滲炭層の炭化物析出状況 (ピクリン酸ソーダ腐蝕 × 150) (其 III)



第9圖 滲炭層の炭化物析出状況 (ピクリン酸ソーダ腐蝕 × 150) (其・IV)

d) 過剰滲炭防止に関する実験

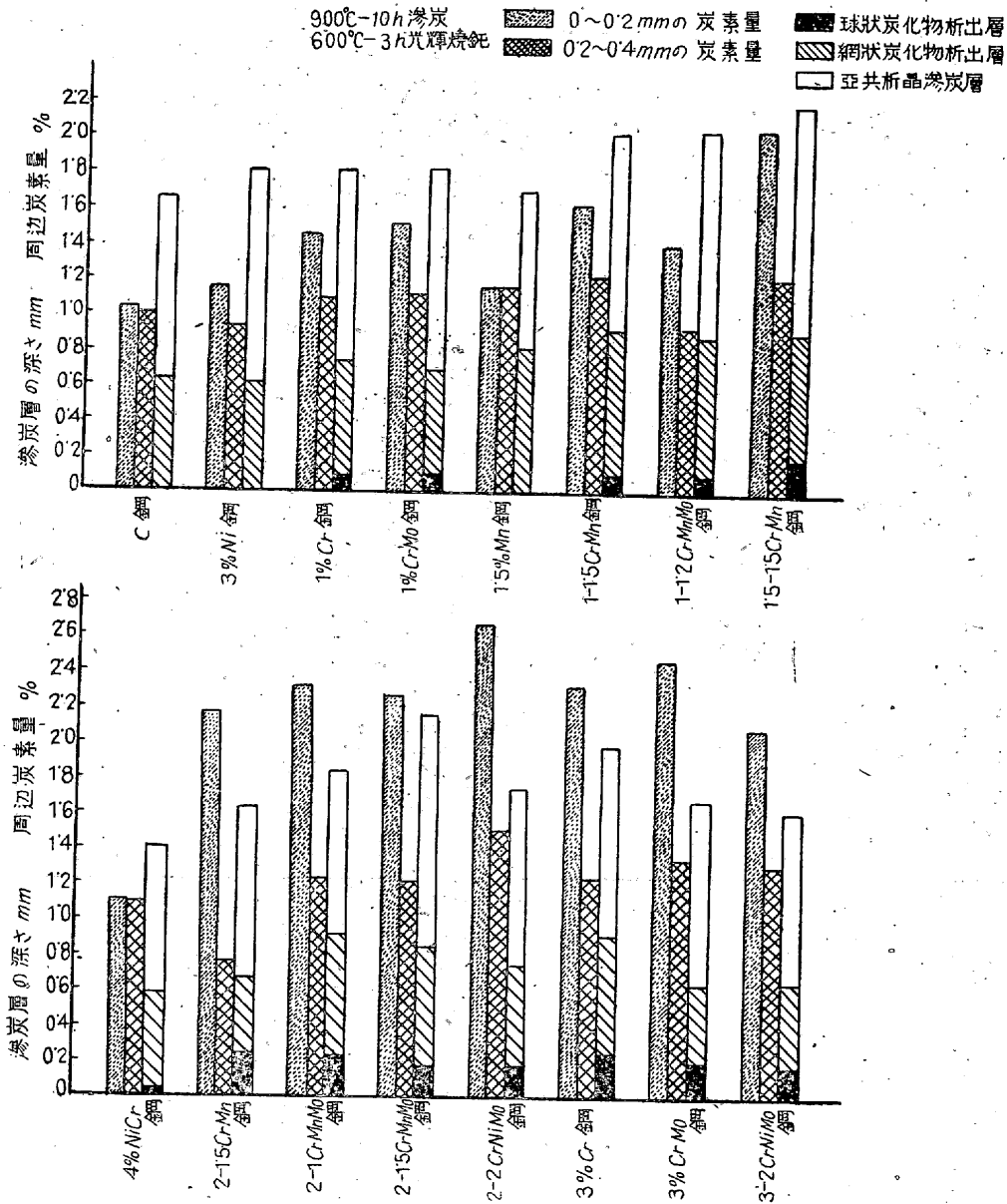
1. 実験の要領 実験要領は第7圖に示す通り、供試の16鋼種を同一条件を以て滲炭し、爾後の実験に便ならしむる爲光輝焼鈍を行ひ、各試片の表層約0.2mmを削り落して得たる削り屑を分析して表層のC量を測定し、検鏡によつて滲炭層の深さ並に組織を検討した。更に同一試片の一部を焼入して、滲炭硬化層の表面硬度並に内部に至る硬化の移行状況を吟味した。

2. 実験結果

a) 滲炭温度、時間と滲炭性 滲炭温度を850°C, 900°C, 950°Cの3通りに、時間を5及び10hの2通りに變へ同一滲炭剤を以て滲炭せる各鋼種の滲炭層の表面炭素量(0~0.2mm層)及び深さとの関係を圖示すると第8圖

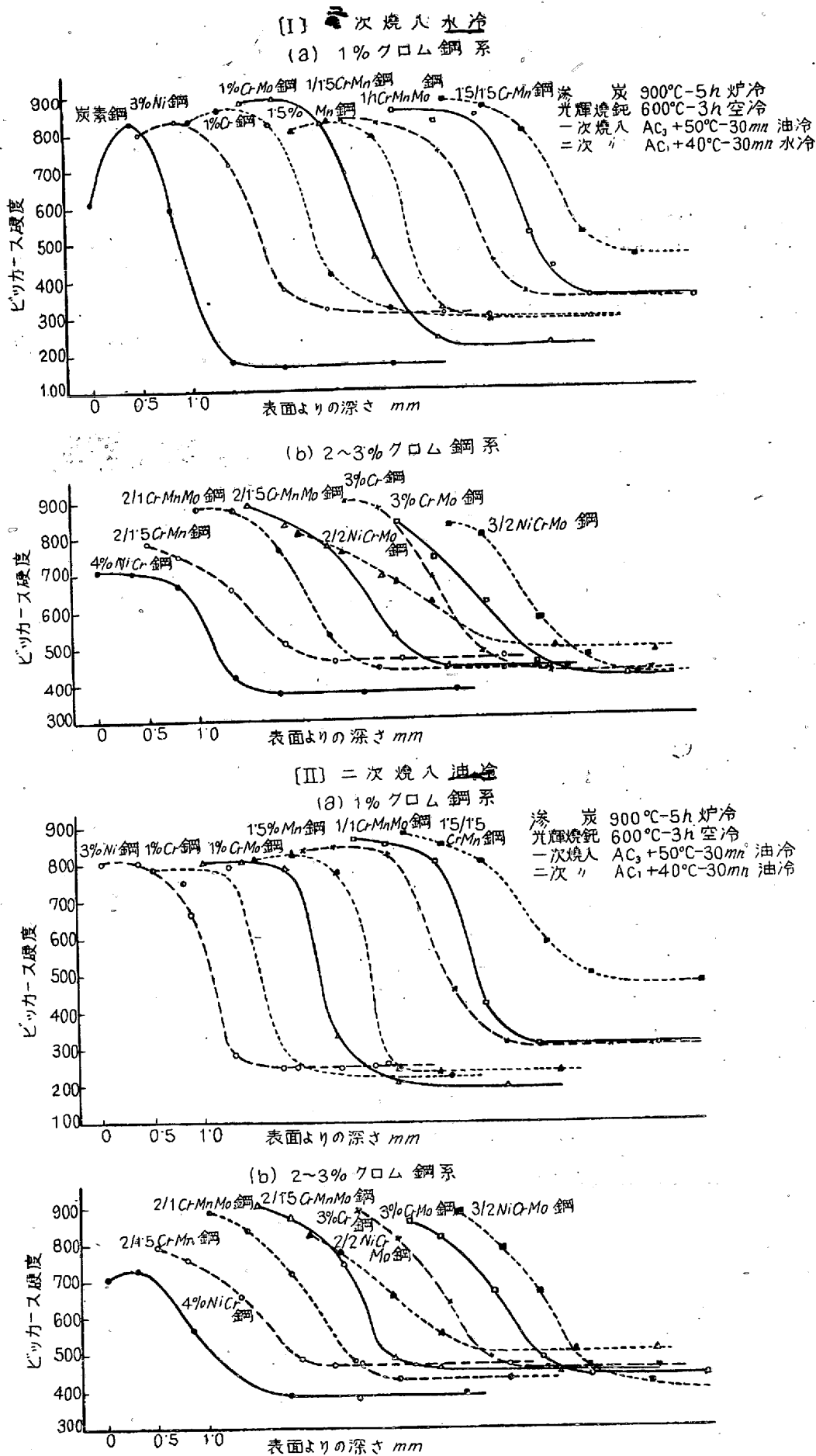
(A)(B)の様である。我々は日常の滲炭處理に於て實際製品を取扱ふ場合滲炭条件を同一に揃へることの極めて困難なことをよく経験してゐるが、本實驗に於ても滲炭条件を同一ならしむべく昇熱、冷却条件は素より其他滲炭剤の充填法等注意したが、各チャージ毎に多少相違あるは免れないものと考え。従つて本實驗の如く單なる1回の滲炭試驗結果を以て、各鋼種の滲炭性を詳細に検討することは早計に失する虞があるが、大體次の事項が觀察される。

(1) 1% Cr, 2% Cr, 3% Cr系統のものを通じCr鋼を基礎とせる鋼種は滲炭温度、時間に拘らずC鋼, Niの多い3% Ni, 4% Ni Cr鋼, 1.5% Mn鋼に比し滲炭表層のC%が高い(以下表面のC%を滲炭度と稱す)特にCr 2%以上含有する鋼種は、1% Cr系統のものに



第10圖 各鋼の滲炭性能





第11圖 滲炭層の焼入硬度曲線

比し滲炭度が大きい。

(2) 滲炭層の深さは之等兩者の間に滲炭程度著しい相を認め難いが、之も概して Cr 系統のものが深い傾向がある。

(3) 滲炭時間に關しては表面の滲炭度は鋼種に關係なく、5h の時間は温度の上昇と共に大となるが、10h の場合は多少例外はあるが 900°C にて最高を示すやうである。

(4) 一方深さは例外なく滲炭温度と共に大となる。

(5) 要するに Cr 系統のものは Ni 鋼, Ni Cr 鋼, Mn 鋼に比し滲炭され易い。

b) 滲炭層の顯微鏡組織と滲炭度並に深さととの關係

各鋼種に就き檢鏡により滲炭層の組織即ち遊離炭化物の析出狀況, C の滲透狀況, 或は結晶の粗大化傾向等を調査した。

(イ) 過共析球狀炭化物の析出狀況: 第 9 圖は各滲炭温度及び時間に於ける滲炭層の炭化物析出狀況を數種の鋼種に就き例示したもので、滲炭度の小さい C 鋼, Mn 鋼, 3% Ni 鋼, 4% Ni Cr 鋼等は滲炭温度及び時間に無關係に最表層に球狀炭化物の析出なく (4% Ni Cr 鋼には幾分現はる), 表層より網狀炭化物の析出が見られる。然るに Cr 鋼では何れの場合も最表層に球狀炭化物の析出層があり、之より内部に網狀の炭化物が析出し最表層に著しく炭素が豊富に凝縮 (Concentrate) せるを見る。而してこの表層部の球狀炭化物は Cr 2% 以上のものでは Cr 1% 系のものに比し、更に顯著に析出し、又 Ni 1~2% の存在には無關係に現はれる。

第 10 圖は 900°C/10h 滲炭せる場合に就て各鋼種別に表層の C% 即ち滲炭度と顯微鏡組織による炭化物の析出狀況との關係を比較圖示したものでこの關係がよく解る。

(ロ) 結晶粒粗大化傾向の比較: 滲炭による結晶粒の粗大化は滲炭硬化層及び中心部の機械的性質に影響し、之を劣化せしめるのみならず之が救済處理として行ふ爾後の熱處理條件にも密接な關係があるので、各鋼種に就き檢鏡によつて調査した。一般に加熱による鋼の結晶粒の粗大化は、製鋼條件殊に脱酸剤の使用條件に支配されることの甚しきは既に多くの研究に見られ

る所であり、一概に各鋼種別に之を比較批判することは正鵠を失するかも知れないが大體次のやうである。即ち

(1) 全鋼種を通じ、滲炭温度 900°C と 950°C との間に急激な結晶の粗大化が起る。

(2) 而して含 Ni のものはその傾向最も小さく、Mn 鋼及び Mn を含む Cr Mn 鋼, Cr Mn Mo 鋼は多少その傾向が著しい。

(3) Cr 鋼, Cr Mo 鋼では 3% Cr のものは 1% Cr のものに比し粗大化傾向が小さい。

(4) Mo の影響は Cr 鋼及び Cr Mn 鋼では粗大化防止にさほど有効ではない。

c) 滲炭層の焼入後の硬度並に硬化狀況 滲炭後光輝焼鈍せる各試料を鹽浴爐に依り夫々一次焼入 (Ac<sub>3</sub>+50°C 油冷) の後二次焼入 (Ac<sub>1</sub>+40°C) を油及び水にて行ひ、表面硬度、並に表面より約 0.25mm 宛研磨落して内部硬度を測定して、硬度—深さ曲線を求めた。第 11 圖は其結果を圖示したものである。この結果より直ちに各鋼種別個々に硬化の狀況を比較することは前述の滲炭條件の同一ならざる虞があるから出來難いが、要するに大體次の事項が觀察される。

(1) 無 Ni 鋼は何れもその滲炭硬化層は表面 Hv 800 ~ 900 を示し充分硬化する。

(2) 但 1% Cr, 1% Cr Mo 鋼では油冷では水冷程硬度が上らない。Mn 1~1.5% 添加の Cr Mn 鋼, Cr Mn

第 8 表 滲炭焼入後の内外硬度比較對照表

鋼 種	滲炭層表面硬度 (V.H.N)		内部硬度 (V.H.N)		摘 要
	二次焼入 (Ac <sub>1</sub> +40°C)				
	油 冷	水 冷	油 冷	水 冷	
炭 素 鋼	—	826	—	162	内外硬度共油, 水冷却による差著し
3% Ni "	806	832	236	295	
1% Cr "	798	858	225	285	
1% Cr Mo "	808	890	195	214	同上, 内部硬度差比較的
1.5% Mn "	827	821	231	285	油, 水冷却に依り表面硬度大差なきも, 内部硬度差猶著し
1/1.5% Cr Mn "	840	830	290	344	
1/1.2% Cr Mn Mo "	869	854	298	340	
1.5/1.5 Cr Mn "	878	881	467	470	油, 水冷却に依る硬度差内外共小
4% Ni Cr "	728	711	386	378	
2/1.5% Cr Mn "	788	787	468	464	
2/1% Cr Mn Mo "	883	881	423	430	
2/1.5% Cr Mn Mo "	900	893	450	436	
2/2% Cr Ni Mo "	823	808	488	479	
3% Cr "	895	892	450	422	
3% Cr Mo "	857	839	436	414	
3/2% Cr Ni Mo "	878	823	398	412	



Mo鋼では油冷水冷共に同様の硬度のものが得られる。

(3) 2% Cr, 3% Cr 鋼では寧ろ含ニツケルの 2/2 Cr Ni Mo, 3/2 Cr Ni Mo 及び 4% Ni Cr 鋼より硬化度が大きい。之は焼入状態に於ける残留オーステナイトに基因する爲と考へられる。

(4) 今内部硬度を同時に加味し、之等の鋼種を對邊距離 15mm の角棒のものに就て水冷及び油冷を以て得られる硬度差を基準として分類すると大體第 8 表の 3 群に分けられるやうである。

d) Cr 鋼の過剰滲炭防止に関する一實驗 以上滲炭に関する二三の實驗に於て、無 Ni 含 Cr 鋼は一般に在來の含 Ni 鋼に比し滲炭され易い性質があり、従つて焼入硬度も出易い特長がある。然しこの最表層のかゝる過剰滲炭は一面硬化層をして脆弱ならしめ、研磨割れ傾向を大ならしめ、又使用時に於ても懸念される點である。この點に就ては今後の研究に俟つべきであるが、差當り過剰滲炭防止のため滲炭剤を變へ滲炭試験を行つて見た。滲炭實驗要領は前述の滲炭試験と同一で、唯滲炭剤として滲炭促進剤たる BaCO<sub>3</sub> の添加を 30% より 0% 迄に減じたるものと、松炭中にフェロシリコン 50% 或はコークス 50% を混じる 2 種のものに就て滲炭温度 900°C、時間 5h を以て滲炭たし、各鋼種に就き比較實驗した。斯くして得たる滲炭試片は前述と同様分析並に檢鏡により表面の C% 及び深さを測定し、第 12 圖の如き結果を得た。即ち

(1) 滲炭促進剤たる BaCO<sub>3</sub> の減少は滲炭の深さ及び表面の滲炭度を減少するが、滲炭深さの減少に比し表面の滲炭度を緩和するにはさほど有効でない。

(2) Fe-Si 50% 或はコークス 50% を混合せるものは高 Cr% のものに於ても表面滲炭度 C 1.4% 以内に止まり、同時に深さも可成り淺くなる。

要するに Fe-Si 或はコークスの添加による滲炭剤は過剰滲炭の防止に有利であるが、一面滲炭層は可成り淺くなり有效なる滲炭層を得る事が難しい。従つて普通固體滲炭剤を以て過剰滲炭され易い高 Cr% の鋼種をして適當なる表面の滲炭度と深さとを兼ね與へることは理論上困難なる事柄であるかも知れないが、今後無ニツケル、クロム肌焼鋼の利用には是非ともこの方面の研究を必要と考へる。

## IV. 結 論

現行 Cr 及び Cr Mo 無ニツケル肌焼鋼の諸性質を再検討すると共に、現行規格に制定され居らざる 100 kg/mm<sup>2</sup> 以上の強力無ニツケル肌焼鋼を探求すべく Cr 1~3% の Cr 鋼及び Cr Mn 鋼系のものに就て肌焼鋼として實用上必要な機械的性質、質量効果、滲炭に関する性質等に関し基礎的研究として二、三の實驗を行つたが、之等の鋼種を比較検討するには尙統計的研究を必要とする。特に質量効果の問題、高 Cr 鋼の過剰滲炭に對する對策として、滲炭法並に滲炭後の熱處理の研究、滲炭硬化層の靱性、實際工事に於て問題となる研磨割れの感受性の問題等研究すべき多くの事項がある。然し本實驗結果を綜合して考察するに質量効果の點を考慮し、適當なる熱處理を選ぶことによつて Ni 2% の低 Ni のものより 4~5% の高級なる含ニツケル鋼を無ニツケル鋼にて置換し得る。殊に高力肌焼鋼にして、3% Cr 系統のものは 2% Cr Mn 系統のものよりも機械的性質並に質量効果の點で性質優れてゐる。唯之等の鋼種では滲炭に於て過剰滲炭の性質顯著にして、表層に球狀炭化物層を生ずる缺點があり、層をして脆弱ならしめる虞がある。

かゝる硬化層が果して實用に當り如何なる影響を有するや吟味に値すると同時に更に滲炭剤或は滲炭處理の研究により過剰滲炭が防止出来れば極めて將來性のある鋼種なりと考へられる。

終りに臨み本研究の發表を許可せられた株式會社神戸製鋼所の幹部の方に謝意を表すると共に終始御指導御鞭撻を賜つた当社取締役研究部長兼特殊鋼部長川上義弘博士に對し深謝する次第である。

## 文 献

- 1) Voss, H. u. F. Krämer: Stahl u. Eisen 59 (1939). 913~920.
- 2) Kiessler, H.: Z. VDI Bd-84. Nr. 23. 385~392.
- 3) Schrader, H. u. F. Brühl: Stahl u. Eisen 60, (1940) 105~1037.
- 4) Diergarten, H.: Stahl u. Eisen 60 (1940) 1027~1037.
- 5) 石田及び東村: 鐵と鋼 26 (昭 15) 521~525
- 6) 錦織及び淺田: 鐵と鋼 27 (昭 16) 151~166