無ニッ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・上田満正*

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

Zen-itiirō 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
- 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

* 神戸製鋼所

I. 緒 言

無ニッ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、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経験があるのみで、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、其全貌顯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¹⁾の研究

Cr-Mo 肌焼鋼の質量效果に関する H. Kiessler の研究²⁾

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. Schrader³⁾の研究

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

第1表 (i) 本邦に於ける含ニッケル肌焼鋼とその無ニッケル代用鋼

規 格	化 学 成 分 %					機 械 的 性 質					含ニッケル鋼 (JES 肌焼鋼)	
	C	Mn	Cr	Mo	Ni	抗張力 kg/mm ²	降伏點 kg/mm ²	伸 %	絞 %	シャルピー kgm/cm ²		
JES 肌 焼 鋼 第 7 種 (Cr 鋼)	0.13 ~ 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 ²
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 ²
											第4種 Ni 3~4% Cr 0.5~1%	>95kg/mm ²
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 ²
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 ²

(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 ²	降 伏 點 kg/mm ²	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⁵⁾の肌焼 Cr-Mn 鋼の研究

錦織博士及び淺田氏⁶⁾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 (110 kg/mm² 以上の) 無ニッケル肌焼鋼に就て、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 數種の無ニッケル乃至低ニッケル鋼に就き、實用的方面を主眼とせる 2, 3 の實驗を行ひその價值を検した。茲に一部の成果を報告し參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ッ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 90 kg/mm² 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 100 kg/mm² 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 110 kg 2/2 Cr-Ni-Mo 鋼 (イ 108), 120 kg 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 を含む含ニッ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)。この種無ニッ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、110 kg 以上の無ニッケル鋼も出來、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ッケルを以て、從來の含ニッケル鋼 (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 $Ac_3+60^\circ C$ 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 (Ac_1 及び Ac_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 Ac_1 は上昇し、 Ac_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。要するに従來の含 Ni 鋼に比し、 Ac_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 25 mm ϕ 壓延材を燒準 (溫度 $Ac_3+60^\circ C$) の後之を低温軟化し ($650^\circ C/3h$ 空冷), 豫め抗張試片 (直徑 14 mm, 標點距離 50 mm) 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

一次焼入	二次焼入	焼戻
$Ac_3+5^\circ C/30mn$ 油冷	1 $Ac_1+20^\circ C$ {水冷 油冷	焼戻せず $100^\circ C/3h$ 油中
	2 $Ac_1+40^\circ C$ {水冷 油冷	$150^\circ C/3h$ "
	3 $Ac_1+60^\circ C$ {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焼入並に焼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) は鋼種別に焼戻溫度 $150^\circ C$ 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			變態の開變態の終始 (Ac_1) T (Ac_3)	
Cr 1%	Cr 系	鋼	.15	.26	.022	.016	.22	.88	.64	—	—	JES 臨時 肌焼 Cr 鋼 " Cr Mo 鋼	750	870
	Cr Mo 系	鋼	.18	.18	.013	.006	.24	1.18	.63	.34	—		745	865
	Cr Mn 系	鋼	.15	.23	.025	.009	.12	—	1.59	—	—		730	865
	(Mn: $\approx 1.5\%$)	1/1.5 Cr Mn 鋼	.16	.20	.029	.015	.19	.98	1.51	—	—		750	825
		1/1.2 Cr Mn Mo 鋼	.17	.26	.026	.008	.21	1.05	1.24	.28	—		750	840
Cr 1.5%	Cr Mn 系	鋼	.21	.25	.024	.008	.10	1.30	1.45	—	—		755	830
Cr 2.0%	Cr Mn 系	鋼	.20	.36	.011	.014	.08	2.05	1.63	—	—		770	835
	(Mn: $\approx 1.0\sim 1.5\%$)	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 Ni 系	鋼	.25	.24	.010	.002	.07	2.29	.63	.35	1.88	陸航假 108	755	795
Cr 3%	Cr 系	鋼	.19	.17	.025	.008	.12	2.71	.60	—	—		785	845
	Cr Mo 系	鋼	.18	.24	.023	.004	.12	3.10	.56	.33	—		805	850
	Cr Ni 系	鋼	.16	.28	.009	.006	.04	3.23	.99	.27	1.99	陸航假 109	730	805
Ni 鋼系	3% Ni 鋼	鋼	.14	.45	.014	.005	.16	.38	.59	—	3.28	JES 肌焼鋼 第3種	700	800
	4% Ni Cr 鋼	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 学 成 分 (%)							變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ac ₁	Ac ₃
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 ²	抗張力 kg/mm ²	降伏比 %	伸 %	絞 %	シャルビ kgm/cm ²	ブリー ン硬度
920°C 30mm 油冷	—	—	58.1	91.2	63.7	15.6	55.8	14.4	238
	770°C 30mm 油冷	150°C 3h 空冷	43.1	76.3	56.4	25.5	50.4	11.1	214
	80°C 30mm 水冷		50.4	89.4	56.3	20.7	44.2	10.8	246
	790°C 30mm 油冷		46.1	76.7	60.1	28.3	54.2	11.6	228
	80°C 30mm 水冷		53.7	95.0	56.5	19.2	48.2	10.1	267
	810°C 30mm 油冷	150°C 3h 空冷	54.1	87.9	61.5	20.8	45.7	12.0	228
80°C 30mm 水冷	54.1		97.2	55.6	17.4	45.7	8.3	256	

2) 1% Cr Mo 鋼

化 学 成 分 (%)								變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃
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 ²	抗張力 kg/mm ²	降伏比 %	伸 %	絞 %	シャルビ kgm/cm ²	ブリネ ル硬度
920°C 30mm 油令	—	—	80.0	111.2	71.9	14.3	55.9	11.5	272
	770°C 30mm 油冷 水冷	150°C 3h 空冷	45.9 46.6	79.3 89.7	57.8 51.9	23.1 18.8	40.3 40.2	8.3 8.8	224 267
	790°C 30mm 油冷 水冷		51.6 63.5	86.5 104.4	59.6 60.8	21.2 16.5	44.5 40.0	7.9 7.1	250 317
	810°C 30mm 油冷 水冷		64.4 55.3	105.8 106.3	60.9 52.0	14.6 17.3	57.4 45.4	8.9 7.4	280 316

3) 1.5% Mn 鋼

化 学 成 分 (%)							變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ac ₁	Ac ₃
0.17	0.23	1.59	0.025	0.009	0.12	—	730	865

熱 處 理			機 械 的 性 質						
一次熱入	二次熱入	焼戻(°C/3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/cm ²	ブリネ ル硬度
920°C 30mm 油冷	—	—	74.1	101.7	72.9	5.0	43.7	7.4	251
	750°C 30mm	—	43.9	72.9	60.7	30.6	53.5	15.3	189
		100	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	254
		150	58.2	95.9	60.7	22.5	49.4	9.1	265
		200	58.0	94.6	61.3	22.3	54.0	10.4	258
	30mm 油冷	—	42.6	71.6	59.4	35.2	57.5	15.9	193
		100	39.6	73.8	58.6	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	60.4	18.5	186
	770°C 30mm 水冷	—	56.5	102.6	55.1	17.8	41.6	6.8	256
		100	53.0	109.4	52.8	18.0	42.3	6.5	265
		150	61.0	102.1	59.7	20.2	45.6	10.0	261
		200	58.9	90.8	64.9	20.1	53.5	12.0	265
	790°C 30mm	—	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) 1/15% Cr Mn 鋼

化 学 成 分 (%)								變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	—	Ac ₁	Ac ₃
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 ²	抗張力 kg/mm ²	降伏 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度
920°C 30mm 油冷	—	—	91.6	133.5	68.6	15.1	55.2	7.5	356
	770°C 30mm	—	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	340
		150	75.4	114.8	65.6	17.3	43.7	7.9	319
		200	81.1	114.8	70.6	18.1	49.1	10.6	319
	580°C 30mm 油冷	—	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
		200	103.3	137.4	75.2	18.0	57.4	9.1	409
	810°C 30mm	—	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) 1/12% Cr Mn Mo 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃	
0.17	0.26	1.24	0.026	0.008	0.21	1.05	0.28	750	840	

熱 處 理			機 械 的 性 質									
一次 焼入	二次焼入	焼入(°C/ 3h 空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸長 %	縮小 %	シヤルビ kg/mm ²	ブリネ ル硬度				
890°C 30mm 油冷	—	—	94.6	141.0	67.1	16.2	53.6	9.8	371			
		—	57.4	109.4	52.5	20.0	37.0	8.3	284			
		100	62.1	106.0	58.5	19.9	38.0	9.0	279			
	油冷	150	60.7	103.6	58.5	21.2	44.0	10.5	279			
		200	64.1	101.5	63.1	22.5	51.7	12.5	276			
		—	62.4	115.5	54.0	15.1	25.1	6.1	314			
	水冷	100	51.7	113.5	48.2	18.1	38.8	7.6	308			
		150	62.1	109.1	56.9	20.1	43.2	9.5	302			
		200	71.5	108.1	66.1	20.7	50.6	11.6	302			
	790°C 30mm 油冷	—	61.9	114.1	54.2	17.7	39.4	8.8	304			
		100	67.3	112.7	59.7	20.3	47.4	9.5	312			
		150	71.0	111.9	63.4	20.2	42.3	11.0	294			
		200	75.3	112.1	67.2	20.3	53.8	12.1	316			
	水冷	—	69.6	121.9	57.1	15.3	35.3	6.9	333			
		100	59.3	120.3	49.3	18.3	42.4	7.3	304			
		150	65.3	115.4	56.5	18.6	48.3	9.4	331			
		200	76.1	115.6	65.8	18.1	50.8	10.5	326			
	810°C 30mm 油冷	—	99.4	140.9	70.5	16.4	55.2	9.3	384			
		100	109.1	141.5	77.1	16.3	56.0	8.9	388			
		150	105.8	140.9	75.1	16.2	56.2	9.1	389			
		200	112.6	141.0	79.8	16.6	57.4	9.8	393			
	水冷	—	82.6	132.6	62.2	11.2	31.0	9.4	384			
		100	93.5	135.6	68.9	15.6	47.6	10.1	377			
		150	91.4	131.9	69.3	16.2	48.6	10.8	378			
		200	107.6	134.8	79.8	16.6	55.3	11.1	378			

6) 1.5/1.5% Cr Mn 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃	
0.21	0.25	1.45	0.024	0.008	0.10	1.30		755	830	

熱 處 理			機 械 的 性 質									
一次 焼入	二次焼入	焼入(°C/ 3h 空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸長 %	縮小 %	シヤルビ kg/mm ²	ブリネ ル硬度				
880°C 30mm 油冷	—	—	110.7	158.1	70.0	14.4	46.3	6.9	434			
		—	88.6	146.4	60.5	16.0	40.8	6.3	370			
		100	92.7	144.2	64.3	15.0	38.7	7.3	373			
	油冷	150	99.3	141.0	70.4	14.7	39.3	7.5	380			
		200	99.0	138.3	71.5	16.4	48.6	9.8	373			
		—	107.4	155.1	69.2	5.0	7.7	4.8	397			
	水冷	100	95.2	156.3	60.9	4.0	6.1	5.9	419			
		150	111.3	146.3	76.1	14.0	41.6	7.6	401			
		200	113.0	147.6	76.6	14.6	50.9	8.8	410			
	800°C 30mm 油冷	—	102.4	157.3	65.1	14.9	45.3	7.8	417			
		100	104.8	154.5	67.5	11.6	33.9	8.4	427			
		150	117.7	155.8	75.6	13.8	43.8	8.5	425			
		200	120.0	154.6	77.6	14.8	51.1	8.4	429			
	水冷	—	114.4	167.6	68.2	12.2	39.7	6.5	432			
		100	95.6	163.7	58.5	12.8	41.6	8.4	445			
		150	106.0	159.9	70.0	15.0	52.6	8.4	440			
		200	111.1	154.7	76.0	16.0	54.6	9.3	447			
	820°C 30mm 油冷	—	111.2	155.4	71.5	15.4	50.6	7.6	415			
		100	108.7	157.5	69.0	14.3	46.4	8.3	408			
		150	113.0	158.8	71.3	15.0	50.5	8.3	418			
		200	127.8	153.3	83.1	15.4	51.8	9.0	416			
	水冷	—	110.8	161.6	68.6	13.6	46.4	6.4	443			
		100	120.8	166.3	72.5	13.8	44.5	7.9	439			
		150	133.1	161.0	82.9	15.2	52.1	8.8	432			
		200	129.4	157.4	82.2	15.3	56.8	9.8	426			

7) 2/1.5% Cr Mn 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃	
0.20	0.36	1.63	0.011	0.014	0.08	2.05		770	835	

熱 處 理			機 械 的 性 質									
一次 焼入	二次焼入	焼入(°C/ 3h 空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸長 %	縮小 %	シヤルビ kg/mm ²	ブリネ ル硬度				
890°C 30mm 油冷	—	—	114.8	154.4	74.4	15.0	46.2	8.8	425			
		—	119.3	154.2	77.4	15.0	45.3	10.9	438			
		100	116.0	154.9	74.9	15.2	50.7	10.3	441			
	油冷	150	119.8	155.2	77.2	16.2	49.7	9.9	441			
		200	118.4	155.0	76.4	16.3	46.4	12.2	436			
		—	129.0	155.6	82.9	2.3	5.3	4.9	430			
	水冷	100	124.1	159.0	78.1	4.2	9.1	6.9	421			
		150	118.9	155.3	76.6	14.0	43.2	10.2	415			
		200	119.9	148.5	80.7	14.1	44.1	10.0	419			
	810°C 30mm 油冷	—	124.8	156.6	79.7	15.6	51.0	10.2	441			
		100	116.8	155.9	74.9	16.2	50.4	10.3	445			
		150	125.0	155.2	80.5	17.7	54.8	11.6	444			
		200	118.4	153.6	77.1	15.8	51.9	11.9	439			
	水冷	—	133.0	164.9	81.2	4.7	5.5	6.6	435			
		100	131.0	163.0	80.4	3.9	5.5	9.1	436			
		150	133.6	161.0	83.0	16.5	56.5	10.8	440			
		200	126.0	154.5	81.6	16.1	56.6	11.6	440			
	830°C 30mm 油冷	—	115.5	154.8	74.6	15.7	41.1	9.1	438			
		100	118.5	153.1	77.4	15.0	48.1	9.5	448			
		150	124.4	153.9	80.8	16.8	53.5	9.3	439			
		200	120.1	151.9	79.1	15.8	54.9	10.4	444			
	水冷	—	135.2	162.2	83.4	2.9	3.5	8.5	436			
		100	133.0	164.0	81.1	6.0	5.3	9.1	445			
		150	133.1	158.1	84.2	16.5	56.1	10.9	432			
		200	124.9	153.1	81.6	15.1	56.9	10.8	429			

8) 2/1% Cr Mn Mo 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點(°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃	
0.17	0.27	0.98	0.026	0.006	0.12	2.23	0.32	785	850	

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次 焼入	二次焼入		焼入(°C/ 3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸長 %	縮 %	シャルビ cm ²	ブリネ ル	
900°C 30mm 油冷	—		—	92.0	146.2	62.9	17.4	56.7	8.6	415
	800°C 30mm	油冷	—	86.5	141.1	61.3	13.6	47.6	9.9	412
			100	100.9	142.8	70.7	16.4	56.2	10.6	417
			150	109.0	143.1	76.2	17.3	56.5	11.1	405
		200	103.2	141.9	72.7	18.0	57.8	11.4	408	
		水冷	—	110.0	147.1	74.8	15.0	50.0	6.0	417
			100	107.8	146.8	72.5	15.3	50.2	7.1	412
	150		122.0	148.5	83.3	16.5	54.4	9.6	415	
	200	120.1	144.4	83.2	17.6	57.6	10.9	412		
	820°C 30mm	油冷	—	105.1	142.0	74.0	15.5	48.7	9.5	415
			100	103.0	142.7	72.2	16.6	52.8	9.9	404
			150	103.4	143.2	72.2	16.8	55.8	11.3	401
		200	105.0	141.7	74.1	17.6	54.1	12.8	405	
		水冷	—	119.4	148.9	80.2	16.4	54.3	7.3	418
			100	122.4	149.7	81.8	15.5	52.0	8.6	425
	150		122.7	148.6	82.6	17.5	57.6	10.5	420	
	200	120.4	144.4	83.4	17.5	57.2	10.3	416		
	840°C 30mm	油冷	—	96.8	143.0	67.7	15.1	56.0	9.9	401
			100	100.4	141.6	70.9	16.4	55.9	9.5	406
			150	98.8	142.4	69.4	18.5	56.9	9.9	410
		200	109.9	141.4	77.7	17.3	57.6	10.1	412	
		水冷	—	121.8	150.9	80.7	16.2	51.5	9.5	422
			100	121.2	150.1	80.7	14.7	56.0	9.6	411
	150		118.0	146.6	80.5	17.0	57.3	10.4	412	
200	119.6	145.2	82.4	17.5	58.2	11.4	416			

9) 2/15% Cr Mn Mo 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃
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						
一次焼入	二次焼入	焼入温度 (°C/3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/cm ²	ブリネ ル硬度
870°C 30mm 油冷	—	—	101.6	147.0	69.1	15.8	47.7	-7.1	410
	780°C 30mm	—	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	144.9	72.8	16.2	54.3	9.9	415
		200	100.0	136.1	73.8	15.3	48.2	10.5	410
	水冷	—	91.0	143.5	63.4	10.8	14.6	5.3	420
		100	101.6	141.9	71.6	14.8	36.5	7.6	419
		150	95.8	137.4	69.7	14.4	42.1	8.4	412
		200	105.2	136.6	77.0	15.7	46.6	10.1	403
	800°C 30mm	—	98.6	149.4	65.9	16.6	50.5	8.8	411
		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
	水冷	—	101.8	156.9	64.9	15.3	49.1	6.1	412
		100	118.2	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	11.9	393
	820°C 30mm	—	105.9	152.5	69.4	15.9	52.0	8.5	418
		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
	水冷	—	107.0	154.9	69.1	14.2	50.0	8.3	416
		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

10) 2/2% Cr Ni Mo 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Mo	Ac ₁	Ac ₃
0.25	0.24	0.63	0.010	0.002	0.07	2.29	1.88	0.35	755	795

熱 處 理			機 械 的 性 質						
一次焼入	二次焼入	焼入温度(°C/3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	屈伏 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/cm ²	ブリネ ル硬度
850°C 30mm 油冷	—	—	115.9	185.0	62.6	6.2	8.6	9.3	497
	760°C 80mm	—	97.2	144.4	67.3	11.5	41.2	8.4	378
		100	85.5	137.4	62.2	7.1	29.7	7.5	348
		150	103.9	150.7	68.9	13.3	42.2	13.2	387
		200	132.6	160.3	82.7	13.3	44.5	11.6	443
	水冷	—	103.9	151.6	68.5	4.4	22.6	9.8	360
		100	117.8	158.5	74.3	7.5	26.4	7.9	428
		150	120.7	158.1	76.3	5.0	23.8	11.9	425
		200	129.5	154.6	83.8	9.7	37.6	12.3	416
	780°C 30mm	—	110.1	167.4	65.8	10.6	30.7	9.2	466
		100	129.0	169.9	75.9	13.7	34.8	8.1	477
		150	127.0	170.2	74.6	13.4	41.0	11.9	485
		200	124.2	163.9	75.8	15.3	48.2	13.4	453
	水冷	—	115.4	162.4	71.1	1.6	2.3	5.1	458
		100	122.2	173.7	70.4	10.9	27.8	5.3	491
		150	141.2	174.0	81.1	14.0	43.4	9.4	482
		200	128.6	162.9	78.9	15.7	53.0	10.6	444
	800°C 30mm	—	114.9	172.3	66.7	14.1	43.9	8.2	496
		100	117.0	165.2	70.8	16.9	53.9	7.2	466
		150	129.5	173.6	74.6	13.9	40.3	10.7	487
		200	134.5	169.6	79.3	15.9	49.5	13.4	486
	水冷	—	108.3	154.4	70.1	1.1	2.0	6.6	475
		100	131.7	176.2	74.7	9.8	17.6	9.5	495
		150	135.7	180.0	75.4	13.6	45.7	11.0	490
		200	133.9	168.0	79.7	16.1	53.4	13.0	457

11) 3% Cr 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃
0.19	0.17	0.60	0.025	0.008	0.12	2.71	—	785	845

熱 處 理			機 械 的 性 質						
一次 焼入	二次焼入	焼入(℃/ 3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降/抗 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度
900℃ 30mm 油冷	—	—	109.3	144.1	75.9	15.7	52.9	9.0	416
	800℃ 30mm	—	106.2	143.3	74.1	16.6	56.3	9.3	404
		100	103.6	141.9	73.0	16.3	57.2	9.0	399
		150	106.9	142.1	75.2	17.7	58.5	10.9	400
		200	107.0	141.3	75.7	16.8	58.8	11.1	397
	水冷	—	107.6	146.2	73.6	16.1	57.9	9.6	416
		100	106.4	145.4	73.2	16.4	55.2	11.1	403
		150	110.8	142.9	77.5	16.5	55.6	13.3	401
		200	118.1	140.0	84.4	17.0	59.1	13.6	400
	820℃ 30mm	—	100.2	141.6	70.8	16.8	56.6	9.1	410
		100	99.1	143.7	69.0	16.4	55.6	9.3	390
		150	104.5	142.2	73.5	17.9	57.4	9.6	402
		200	107.8	140.8	76.6	17.3	58.7	9.6	401
	水冷	—	103.0	145.3	70.9	16.1	55.1	8.0	417
		100	111.0	142.8	77.7	16.0	53.7	8.6	405
		150	115.0	142.9	80.5	16.3	56.9	9.1	413
		200	111.8	140.9	79.3	16.0	58.1	10.8	404
	840℃ 30mm	—	101.4	141.8	71.5	16.6	54.1	8.8	406
		100	98.7	142.0	70.1	15.5	53.2	9.3	400
		150	102.2	141.5	72.2	16.1	54.9	10.1	408
		200	102.8	142.0	72.4	16.0	55.8	9.5	406
	水冷	—	113.6	147.7	76.9	17.2	56.2	9.1	417
		100	113.1	148.1	76.4	16.2	56.8	9.9	410
		150	117.6	146.3	80.4	17.7	58.7	10.3	415
		200	115.7	142.5	81.2	17.9	59.9	9.8	416

12) 3% Cr Mo 鋼

化 學 成 分 (%)								變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃
0.18	0.24	0.56	0.023	0.004	0.12	3.10	0.33	805	850

熱 處 理			機 械 的 性 質							
一次 焼入	二次焼入	焼戻(℃/ 3h空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	降伏 %	伸 %	絞 %	シャルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度	
900℃ 30mm 油冷	—	—	85.3	137.1	62.2	16.8	58.5	11.4	397	
	800℃ 30mm	—	94.5	137.4	68.8	17.9	61.1	15.2	393	
		100	87.1	137.2	63.5	17.5	61.3	15.9	393	
		150	94.8	137.3	69.0	17.8	62.6	16.2	397	
		200	96.1	137.8	69.7	17.4	62.2	15.6	394	
	水冷	—	102.0	142.6	71.5	14.1	44.4	10.6	399	
		100	96.7	141.8	68.2	17.2	60.3	10.7	412	
		150	107.3	141.6	75.8	16.7	61.2	12.8	417	
		200	110.5	138.2	79.9	16.9	62.6	13.8	397	
	820℃ 30mm	—	87.6	136.5	64.2	17.1	60.6	14.1	397	
		100	94.4	137.1	68.8	16.7	61.8	14.3	403	
		150	96.8	135.6	71.4	17.0	61.2	14.2	403	
		200	89.4	138.1	64.7	17.6	61.8	14.2	405	
	水冷	—	107.0	143.3	74.7	16.4	56.9	14.5	410	
		100	104.2	141.5	73.6	16.9	59.4	13.4	395	
		150	110.9	141.5	78.4	17.5	61.6	14.9	412	
		200	110.5	137.9	80.1	16.9	62.5	14.8	405	
	840℃ 30mm	—	94.4	138.5	68.2	17.9	60.7	15.1	395	
		100	96.5	137.5	70.2	17.5	61.9	15.1	394	
		150	100.6	138.0	72.9	17.1	61.1	14.7	398	
		200	94.9	137.5	69.0	17.8	61.8	14.8	396	
	水冷	—	106.1	141.9	74.8	17.4	55.5	13.4	403	
		100	93.9	142.3	66.0	17.6	60.4	14.1	416	
		150	103.3	140.2	73.7	17.1	61.1	13.8	401	
		200	110.2	138.0	79.5	17.9	62.8	15.4	400	

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 ₁	Ac ₃
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	燒入 溫度 (°C/ 3h/空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	縮 %	シヤルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度			
860°C 30mn 油冷	—	—	90.0	140.4	64.2	14.1	47.8	11.0	380		
		—	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		
	750°C 30mn 油冷	200	84.2	112.3	75.0	18.7	55.6	13.3	323		
		—	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		
	770°C 30mn 油冷	—	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		
860°C 30mn 油冷	—	—	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 30mn 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		
	—	—	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 ₁	Ac ₃
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	燒入 溫度 (°C/ 3h/空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	縮 %	シヤルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度			
890°C 30mn 油冷	—	—	52.2	72.4	72.1	23.8	70.4	27.4	197		
		—	34.8	50.7	68.6	33.1	76.8	不折	152		
		100	41.0	52.5	78.1	32.2	76.5	33.8	158		
		150	36.0	63.6	56.6	31.7	67.0	26.3	184		
	780°C 30mn 油冷	200	40.9	68.5	59.7	29.6	65.5	21.9	199		
		—	36.7	64.8	56.6	30.1	68.7	24.5	179		
		100	44.0	72.2	60.9	27.3	66.5	23.0	217		
		150									
		200									
	800°C 30mn 油冷	—									
		100									
		150									
		200									

15) 3% Ni 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr		Ac ₁	Ac ₃
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	燒入 溫度 (°C/ 3h/空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	縮 %	シヤルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度			
850°C 30mn 油冷	—	—	65.8	107.5	61.2	19.0	59.6	15.8	254		
		—	54.5	87.3	62.4	28.5	65.5	22.6	249		
		100	65.6	96.7	67.8	24.2	62.1	17.7	269		
		150									
	740°C 30mn 油冷	200	52.5	78.3	67.0	33.1	72.1	26.3	225		
		—	64.0	101.9	62.8	23.0	62.5	17.0	278		
		100									
		150									
		200									
	760°C 30mn 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		
		150									
		200									

16) 4% Ni Cr 鋼

化 學 成 分 (%)									變態點 (°C)	
C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Ac ₁	Ac ₃
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	燒入 溫度 (°C/ 3h/空冷)	降伏點 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸 %	縮 %	シヤルビ -kgm/ cm ²	ブリネ ル硬度			
840°C 30mn 油冷	—	—	84.0	121.1	69.4	17.9	62.9	12.9	356		
		—	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	360		
	740°C 30mn 油冷	200	96.1	125.0	76.9	17.4	63.4	12.7	362		
		—	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	365		
		200	102.9	127.4	80.8	16.4	61.6	13.3	368		
	760°C 30mn 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		
840°C 30mn 油冷	—	—	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 30mn 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	351		
		200	94.1	123.4	76.3	16.9	61.4	12.8	348		
	—	—	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	369		
		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(B) 供試鋼の降伏点の伸, 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、 $C0.20\%$ 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 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 kg/mm^2 、シャルピー 10 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 ² 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、之は質量效果の大なる爲なり。
II	70~100kg/mm ² JES2種~JES5種 80~90~95~100 kg/mm ²	3% Ni 鋼 1.5% Mn " 1% Cr " 1% Cr Mo "	同 左	同 左	同 左	同 左	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 ² JES5種~JES6種以上 100~110kg/mm ²	4% Ni Cr 鋼 1/1.2 Cr Mn Mo " 1/1.5 Cr Mn "	同 左	同 左	同 左	同 左	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 Cr Mn 1/1 Cr Mn Mo 鋼では抗張力の上限下限間に30~40kg/mm ² の開きを生じ、質量效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 ²	①2/1CrMnMo鋼 3% Cr Mo " 2/2CrNiMo " 3/2%CrNiMo " 3% Cr " ②2/1.5 Cr Mn " 2/1CrMnMo " ④に比し稍劣る ⑤1.5/1.5 Cr Mn "	③3% Cr Mo 鋼 ④3/2CrNiMo " 3% Cr " 2/2CrNiMo " 2/1CrMnMo " ⑥2/1.5 Cr Mn Mo " 2/1.5 Cr Mn " ⑦と同等なるも區々となる傾向あり ⑧1.5/1.5 Cr Mn "	③3% Cr Mo 鋼 3/2%CrNiMo " 2/2%CrNiMo " 3% Cr " ⑥2/1CrMnMo " 2/1.5 Cr Mn " ⑧2/1.5 Cr Mn Mo " 1.5/1.5CrMn "	④2/1.5 Cr Mn 鋼 2/1CrMnMo " 2/1.5 Cr Mn Mo " 3/2%CrMnMo " 3% Cr " 1.5/1.5CrMn " ③3% Cr Mo	同 左	3の100~130kg/mm ² 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效果の影響の少き事を知る。次に之等の中 Mn1.5% 系のものはばらつきの傾向他のものに比し比較的大なり。

(3) Cr1% 及び2% 系に於て Mn1.5% 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の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/mm², シャルピー値 10~15 kgm/cm² 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ち、3% Cr 鋼に於てはシャルピー値を増大せしむ。但降伏点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. 質量效果に関する實驗

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惡し
JES 6 種 4% Ni Cr 鋼 二 次 焼 入 油	1	3% Cr Mn 鋼	—	4% ニッケル C 鋼と同等又は夫以上に優秀
		3% Cr Ni Mo "		
		2/2 Cr Ni Mo "		
	2	3% Cr "	—	靱性稍劣るも規格値に對し猶十分なるもの
		2/1 Cr Mn Mo "		
		2/1.5 Cr Mn Mo "		
3	2/1.5 Cr Mn "		靱性更に惡し	
2/2CrNiMo鋼		2/1 Cr Mn Mo "	—	シャルピー値稍低し殆ど同等更に優秀
3/2CrNiMo鋼		3% Cr "		
		3% Cr Mo "		

充分に焼が入ると云ふ所謂質量效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效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 冷却速度に依る変態点の降下状況

〔A〕 冷却速度の変化による Ar 変態温度—測定 佐藤式自記膨脹計を用ひ、各鋼種總て $AC_3+50^\circ C$ より緩徐冷却 ($3^\circ C/mm$ 及び $15^\circ C/mm$)、空冷 (約 $700^\circ C/mm$) 及び油冷 (約 $11,100^\circ C/mm$) の3通りに冷却速度を変へて Ar 変態を測定し、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 $3^\circ C/mm$ 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 $4\% Ni Cr$ 鋼, $2/15 Cr Mn Mo$ 鋼の2種で他は何れも Ar_1 變態のみを生ずる。

b). 冷却速度 $15^\circ C/mm$ 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

c) 冷却速度 $700^\circ C/mm$ (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_1 を生ず)
 $1\% Cr Mo$ 鋼
 $1/15 Cr Mo$ 鋼

1/12 Cr Mn Mo 鋼

2/1 Cr Mn Mo 鋼

(ハ) 15% Mn, 3% Ni, C 鋼は空中放冷では Ar_1 変態を生じ中間変態を起さない。

d) 冷却速度 $11100^\circ\text{C}/\text{mn}$ (油中冷却) の場合

C 鋼のみ一部に Ar_1 を有する Ar' 変態を生ずるが他は何れも Ar'' 変態のみを生ず。

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、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。

第 3 圖

[B] 鋼材の大きさの變化に伴ふ焼入断面硬度の分布状況の變化測定—本試験には各鋼種の 150 kg 丸型鋼塊より第 3 圖の如き径 25, 50, 100 mm の試材を鍛造し, (鍛錬係数 64, 16, 4) 夫々焼準後 $\Delta c_3 + 50^\circ\text{C}$ より水及び油に焼入したる後鍛材中央より 20 mm 厚さの圓板を切斷採取し, その横断面をヴィツカース硬度計を以て約 2 mm 置きに測定した。即ち断面硬度の分布状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] 1/15 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, 水冷の如何に関せず周邊部, 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る, 此群は更に次の 2 類に分た

第 4 圖 焼入断面硬度分布曲線

れる。

〔II〕a 周邊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 よりも周邊部焼入能大となり、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邊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
	25mm	—	3 % Cr 鋼 3 % Cr Mo 鋼	
2/2 Cr Ni Mo 鋼 3/2 Cr Ni 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% CrMo 鋼

焼 入	油 冷			水 冷		
試料直径	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ
グイッカー硬度	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
グイッカー硬度	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変化 (I) (ピクリン酸アルコール腐蝕) $\times 400$

{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 mm φ	50 mm φ	25 mm φ	100 mm φ	50 mm φ	25 mm 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
中 心 部	組 織 T+F (少量)	T	T+M (少量)	T	T	M+T

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) 31% CrMnMo 鋼

焼入	油			水		
試料直径	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ
ウィツカーズ硬度	370	392	413	408	413	460
組織	T+M	T+M	M	M+T	M+T	M
周 縁 部
ウィツカーズ硬度	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変化(III)(ピクリン酸アルコール腐蝕) $\times 400$

[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 冷			水 冷		
試料直径	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ	100 mm ϕ	50 mm ϕ	25 mm ϕ
グイッカーズ 硬度	402	380	427	436	451	448
組 織	M	M	A+M	M	M+A	M+A
周 縁 部						
グイッカーズ 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) $\times 400$

[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圖は周邊部(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 15% 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 50mm ϕ の中心部及び 100mm ϕ では内外共フェライトを混在する。[II] 群の (a) に属する 1/15% Cr Mn 鋼は 25mm ϕ では, 何れもマルテンサイト+トルースタイト, 50mm ϕ 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, 100mm ϕ 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

I 試験片の調製

25mmφ圧延素材 焼準 低温焼鈍 供試材

→ $AC_3 + 60^\circ C/1h$ 空冷 → $650^\circ C/3h$ 空冷 →

170mm 15mmφ 55mmφ

IV 渗炭条件

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

II 渗炭の方法

V 光輝焼鈍 (600°C 3h 空冷)

III 渗炭剤

	C	P	S	H ₂ O	CO ₂	Ba	Na	Ash	CN	配合比 (%)
本炭	84.70	0.066	0.082	6.02	2.88	なし	0.98	542	反応なし	70
BaCO ₃	—	—	—	0.52	17.75	65.19	1.17	—	反応あり	30

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検討した。

- 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図 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)及び深さとの關係を圖示すると第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回の滲炭試験結果を以て、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Cr2%以上含有する鋼種は、1% Cr系統のものに

[I] 一次焼入水冷

(a) 1%クロム鋼系

(b) 2~3%クロム鋼系

[II] 二次焼入油冷

(a) 1%クロム鋼系

(b) 2~3%クロム鋼系

第11圖 炭層の焼入硬度曲線

比し滲炭度が大である。

(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状況、C の滲透状況、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状況： 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状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状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° 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。

① c) 滲炭層の焼入後の硬度並に硬化状況 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 ($A_{c3}+50^{\circ}C$ 油冷) の後二次焼入 ($A_{c1}+40^{\circ}C$) 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状況を比較することは前述の滲炭條件の同一ならざる處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 (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 ₁ 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、内部硬度差比較的小
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	408	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、從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 BaCO₃ 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験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 BaCO₃ 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 0.14% 以内に止まり、同時に深さも可成り浅くなる。

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浅くなり有效なる滲炭層を得る事が難しい。從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/mm² 以上の強力無ニツケル肌焼鋼を探索すべく 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當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